



Universidad Nacional de Córdoba  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Escuela para Graduados



---

**RELACIONES SUELO-PLANTA EN EL  
ECOSISTEMA SALINAS GRANDES, PROVINCIA DE  
CATAMARCA (ARGENTINA)**

**Marcos S. Karlin**

Tesis  
Para optar al Grado Académico de  
Doctor en Ciencias Agropecuarias

*Córdoba, 2013*

# **RELACIONES SUELO-PLANTA EN EL ECOSISTEMA SALINAS GRANDES, PROVINCIA DE CATAMARCA (ARGENTINA)**

**Marcos S. Karlin**

## **Comisión Asesora de Tesis**

**Director:** Dr. (Geol.) José M. Sayago

**Co-Director:** Dr. (Ing. Agr.) Omar A. Bachmeier

**Asesor:** Dr. (Ing. Agr.) Antonio D. Dalmaso

## **Tribunal Examinador de Tesis**

Dr. (Ing. Agr.) Juan A. Álvarez .....

Dr. (Ing. Agr.) Omar A. Bachmeier .....

Dr. (Ing. Agr.) Juan J. Cantero .....

## **Presentación formal académica**

12 de marzo de 2013  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Universidad Nacional de Córdoba

## **AGRADECIMIENTOS**

A Natalia por su paciencia y su apoyo permanente.

A Ola, mi mentor personal, y a Alicia por su aliento incondicional.

A mis asesores, José Manuel Sayago, Omar Bachmeier y Antonio Dalmaso por haber aceptado dirigirme y por sus invaluable aportes para la realización de esta tesis.

A Rubén Coirini, Ana Contreras y Eduardo Ruiz Posse por su apoyo y acompañamiento a campo; por los mates, los asados y los vinos compartidos.

A Eduardo Buffa, Ricardo Zapata, Soledad Allier y Gustavo Reati por haber compartido conmigo algo más que sus conocimientos.

A Alejandro Moreno y Adriana Rollán por su apoyo en las tareas de laboratorio.

A Roberto Sereno, quien se ha prestado a “filosofar” conmigo sobre la termodinámica ambiental.

A los Dres. Juan Álvarez y Juan José Cantero por sus sugerencias.

A los técnicos de la Subsecretaría de Desarrollo Rural (ex PSA), en especial a Germán Castro, el gran responsable de que yo pudiera conocer las Salinas Grandes y su gente, y por quien tengo un gran aprecio personal.

A los pobladores de las Salinas Grandes, quienes siempre estuvieron dispuestos a acompañarnos y a albergarnos en sus casas, y de quienes he aprendido mucho más conocimientos de lo que personalmente puedo ofrecerles.

**A MI ESPOSA E HIJOS**



## RESUMEN

Los sistemas salinos son sistemas abiertos donde los flujos de energía y materia producen modificaciones en las comunidades vegetales. En base a estos cambios, es posible definir vectores que muestren las tendencias de las comunidades para alcanzar estados maduros o perturbados. Las relaciones entre las variables ecológicas se han definido con el fin de comprender el comportamiento del sistema Salinas Grandes. Se determinaron variables de suelo y de vegetación, identificando cinco zonas homogéneas. Se relevaron los datos fenológicos correspondientes a cada zona, a lo largo de dos temporadas sucesivas a través de observaciones visuales de las poblaciones de plantas en diferentes puntos de la cuenca. Los coeficientes de Lyapunov ( $L$ ) fueron calculados como la distancia Euclídea de cada sitio respecto a una condición de referencia, representando la exergía del sistema. Características edáficas y microtopográficas definen la fisonomía de cada sitio con diferente oferta de plantas forrajeras. Estos sitios pueden ser agrupados en unidades de manejo, lo que permite la aplicación de modelos de gestión para cada uno de ellos. La disminución de la conductividad eléctrica y  $pH$ , y el aumento de espesor del horizonte superficial arenoso, afectan a las comunidades, aumentan la cobertura vegetal, la biodiversidad, la receptividad ganadera y la resiliencia. Los datos fenológicos muestran diferencias significativas en los períodos de floración y fructificación para las diferentes zonas. Las lluvias producen diferentes respuestas fenológicas de acuerdo con las familias evaluadas y en relación con las diferentes zonas consideradas. Cambios en la abundancia y cobertura de especies clave son buenos indicadores de cambios edáficos, lo que permite establecer límites entre las zonas. La conductividad eléctrica, la biodiversidad y la cobertura se podrían utilizar como indicadores de la receptividad ganadera.  $L$  está íntimamente relacionada con la salinidad del suelo, y puede también ser utilizado para la determinación de la receptividad ganadera. Cuando  $L$  disminuye en el tiempo, se espera que el sistema se dirija hacia un estado estacionario, de lo contrario, el equilibrio es inestable y se vuelve menos resiliente. Mientras se desarrolla la sucesión primaria, la receptividad ganadera aumenta. La degradación antrópica puede producir un retroceso de las sucesiones primarias o secundarias, a través de procesos de erosión y la salinización.

**Palabras clave:** biodiversidad, fenología, receptividad ganadera, salinidad, sucesión.

## ABSTRACT

Saline systems are open systems where energy and matter fluxes produce modifications in plant communities. Based on these changes, it is possible to define vectors that show the tendencies of such communities to reach mature or disturbed states. Relations among ecological variables were defined in order to understand the behavior of Salinas Grandes system. Soil and vegetation were sampled identifying five homogeneous zones. Phenological data was taken in each zone, along two successive seasons through visual observations of plant populations in different points of the basin. Lyapunov coefficients ( $L$ ) were calculated as the Euclidean distance of each site from a reference condition, representing the exergy of the system. Edaphic and microtopographic characteristics define the physiognomy of each site with different offer of foraging plants. These sites can be clustered into management units, enabling the application of management patterns in each one of these. The decrease of electrical conductivity and  $pH$ , and the increase of sandy topsoil thickness, affect communities, increasing plant cover, biodiversity, minimum rangeland requirement and resilience. Results show significant differences in the periods of flowering and fructifying depending on the zone. Rains produce different phenological responses according to the evaluated families and in relation to the different considered zones. The changes of abundance and cover of key species are good indicators of edaphic changes, enabling to establish limits between zones. Electrical conductivity, biodiversity and cover could be used as indicators for minimum rangeland requirement.  $L$  is intimately related to soil salinity, and can be also used for the determination of minimum rangeland requirements. When  $L$  decreases in time, it is expected that the system goes towards a steady state. If the contrary occurs, the equilibrium is unstable and becomes less resilient. While primary succession evolves, minimum rangeland requirements increase. Anthropogenic degradation can produce retrogression of primary or secondary successions, through erosive processes and salinization.

Keywords: biodiversity, minimum rangeland requirement, phenology, salinity, succession.

# TABLA DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO 1-INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS SALINOS .....	1
ANTECEDENTES .....	5
PLANTEO DEL PROBLEMA .....	6
HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....	7
OBJETIVO GENERAL.....	7
OBJETIVOS PARTICULARES .....	7
<b>CAPÍTULO 2-MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>8</b>
ÁREA DE ESTUDIO .....	8
APLICACIÓN DE TELEDETECCIÓN Y ZONIFICACIÓN.....	12
RELEVAMIENTO DE LA VEGETACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES INDICADORAS .....	13
RELEVAMIENTO FENOLÓGICO .....	18
RELEVAMIENTO CLIMÁTICO, EDÁFICO Y TOPOGRÁFICO .....	18
ANÁLISIS MATEMÁTICO Y ESTADÍSTICO .....	20
<b>CAPÍTULO 3-RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
CARACTERIZACIÓN ZONAL .....	26
SUELOS .....	29
VEGETACIÓN.....	37
RELACIONES ESTRUCTURALES SUELO-PLANTA.....	44
RELACIONES FENOLÓGICAS SUELO-PLANTA-CLIMA .....	47
RELACIONES DINÁMICAS SUELO-PLANTA .....	51
<b>CAPÍTULO 4-DISCUSIÓN.....</b>	<b>56</b>
RELACIONES ESTRUCTURALES SUELO-PLANTA.....	56
RELACIONES FENOLÓGICAS SUELO-PLANTA-CLIMA .....	68
RELACIONES DINÁMICAS SUELO-PLANTA .....	71
Dinámica de sucesión .....	71
Importancia agronómica de los conceptos discutidos .....	78
<b>CAPÍTULO 5-CONCLUSIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO 1- Población por grupo etario y número de familias por paraje en el área de estudio .....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO 2-Imágenes de las zonas identificadas .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO 3-Listado de especies encontradas en el área de estudio.....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO 4-Tabla de especies relevadas desde el punto de vista fenológico .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXO 5-Tabla síntesis de las variables edáficas .....</b>	<b>106</b>

<b>ANEXO 6-Marco teórico de la dinámica de poblaciones.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO 7-Perfil de vegetación de Salinas Grandes .....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO 8- Ciclo ganadero y especies forrajeras en Salinas Grandes, Catamarca, Argentina .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO 9- Fenología de especies vegetales de Salinas Grandes, Catamarca, Argentina .....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO 10- Dinámica ambiental en Salinas Grandes, Catamarca (Argentina) .....</b>	<b>143</b>
<b>ANEXO 11- Modelo de encuesta realizada a pobladores locales .....</b>	<b>167</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Coordenadas geográficas y altitud de los sitios de muestreo .....	16
Tabla 3.1: Caracterización de perfiles modales de cada zona .....	30
Tabla 3.2: Tabla fitosociológica sintética de las Salinas Grandes .....	39
Tabla 3.3: Diferencias significativas entre zonas por fenofase y estadísticos .....	49
Tabla 3.4: Diferencias significativas entre familias por fenofase y estadísticos .....	50
Tabla 4.1: Tabla fitosociológica sintética de las Salinas Grandes (modificada) .....	73

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 2.1: Ubicación del área de estudio.....	9
Fig. 2.2: Esquema geomorfológico del área de estudio.....	10
Fig. 2.3: Mapa de ubicación de sitios de muestreo.....	15
Fig. 3.1: Mapa ambiental del área de estudio.....	31
Fig. 3.2: Gráfico box plot para conductividad eléctrica ( <i>CE</i> ) en relación suelo:agua 1:1, por zona y por temporada.....	32
Fig. 3.3: Gráfico box plot para <i>pH</i> en relación suelo:agua 1:1, por zona y por temporada.	33
Fig. 3.4: Gráfico box plot para profundidad del horizonte superficial arenoso ( <i>Prof</i> ) en cm, por zona.....	34
Fig. 3.5: Gráfico box plot para porcentaje de arenas ( <i>Ar</i> ), por zona.....	35
Fig. 3.6: Gráfico box plot para porcentaje de carbonatos ( <i>Cb</i> ), por zona.....	36
Fig. 3.7: Gráfico box plot para densidad aparente ( <i>Dap</i> ) en $\text{Mg m}^{-3}$ , por zona.....	37
Fig. 3.8: Gráfico box plot para cobertura vegetal ( <i>Cob</i> ) en $\text{m m}^{-1}$ , por zona.....	41
Fig. 3.9: Gráfico box plot para el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver ( <i>H</i> ), por zona.....	42
Fig. 3.10: Gráfico box plot para receptividad ganadera ( <i>RG</i> ) en $\text{ha EV}^{-1}$ , por zona.....	43
Fig. 3.11: Regresión no lineal entre receptividad ganadera ( <i>RG</i> ) y cobertura vegetal ( <i>Cob</i> ).....	46
Fig. 3.12: Regresión no lineal entre receptividad ganadera ( <i>RG</i> ) y el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver ( <i>H</i> ).....	46
Fig. 3.13: Fenología por zona y precipitaciones de la temporada 2007-2009 en la región.	48
Fig. 3.14: Fenología por familia y precipitaciones de la temporada 2007-2009 en la región.....	50
Fig. 3.15: Relación lineal entre los coeficientes de Lyapunov ( <i>L</i> ) y la conductividad eléctrica ( <i>CE</i> ).....	51

Fig. 3.16: Regresión no lineal entre los coeficientes de Lyapunov ( $L$ ) y los índices de Shannon-Weaver ( $H$ ) .....	53
Fig. 3.17: Regresión no lineal entre el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver ( $H$ ) y la conductividad eléctrica ( $CE$ ) .....	54
Fig. 3.18: Regresión no lineal entre el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver ( $H$ ) y el espesor del horizonte superficial arenoso ( $Prof$ ) .....	55
Fig. 3.19: Regresión no lineal entre el espesor del horizonte superficial arenoso ( $Prof$ ) y la conductividad eléctrica ( $CE$ ) .....	55
Fig. 4.1: Gráfico box plot para porcentaje de arenas ( $Ar$ ), para horizonte superficial y sub-superficial por zona.....	58
Fig. 4.2: Gráfico box plot para porcentaje de carbonatos ( $Cb$ ), para horizonte superficial y sub-superficial por zona.....	60
Fig. 4.3: Cambio de zona (de $SV$ a $LI$ ) por efecto de acumulación de arenas en superficie.....	63
Fig. 4.4: Análisis de conglomerados en base a valores de abundancia-dominancia del total de la vegetación .....	66
Fig. 4.5: Análisis discriminante de las variables de abundancia-dominancia de las especies indicadoras .....	67
Fig. 4.6: Análisis de conglomerados en función a las variables fenológicas.....	70
Fig. 4.7: Curvas de frecuencia relativa en relación a la conductividad eléctrica ( $CE$ ) .....	76
Fig. 4.8: Esquema de las relaciones entre las zonas consideradas y las variables edáficas.	77
Fig. 4.9: Función no lineal de la receptividad ganadera ( $RG$ ) en relación a la conductividad eléctrica ( $CE$ ) .....	79
Fig. 4.10: Función no lineal de la receptividad ganadera ( $RG$ ) en relación a los coeficientes de Lyapunov ( $L$ ).....	79

## LISTA DE ABREVIATURAS

- Ac:** Arcilla, arcilloso  
**All pat:** *Allenrolfea patagonica*  
**ANAVA:** Análisis de la varianza  
**Ar:** Arena, arenoso  
**Asp que:** *Aspidosperma quebracho blanco*  
**Atr arg:** *Atriplex argentina*  
**Cb:** Carbonatos  
**CE:** Conductividad eléctrica  
**CEC:** Contribución específica por contacto  
**Cer pra:** *Cercidium praecox*  
**C<sub>i</sub>:** Número de contactos  
**cm:** centímetros  
**Cob:** Cobertura vegetal  
**Cyc gen:** *Cyclolepis genistoides*  
**D:** Dunas  
**d:** Derivada  
**Dap:** Densidad aparente  
**Dis ace:** *Distichlis acerosa*  
**dS:** DeciSiemens  
**E:** Energía total del sistema  
**e<sub>i</sub>:** Energía acumulada en cada especie  
**ec:** Ecuación  
**EV:** Equivalente vaca  
**Ex:** Exergía  
**exp:** Función exponencial  
**F:** Franco  
**g:** Gramos  
**GPS:** Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)  
**H:** Índice de biodiversidad de Shannon-Weaver  
**Ha/s:** Hectárea(s)  
**Het rit:** *Heterostachys ritteriana*  
**Hz:** Horizonte  
**ICE:** Índice de calidad específica  
**IGM:** Instituto Geográfico Militar  
**kg:** Kilogramos  
**L:** Coeficiente de Lyapunov  
**Lar div:** *Larrea divaricata*  
**LI:** Llano inundable  
**Li:** Límite inferior del horizonte  
**Lim:** Limo, limoso  
**Ln:** Logaritmo natural  
**Ls:** Límite superior del horizonte  
**m:** metros  
**ml:** mililitros  
**May vit:** *Maytenus vitis-idaea*  
**MCIS:** Monte con influencia salina



**MEIS:** Monte con escasa influencia salina  
**Mim car:** *Mimozyganthus carinatus*  
**mm:** Milímetros  
**msnm:** Metros sobre el nivel del mar  
**N:** Normal  
**Nac:** Nacional  
**N<sub>i</sub>:** Tamaño actual de la población i  
**N<sub>i</sub><sup>\*</sup>:** Tamaño máximo esperado de la población i  
**NDVI:** Normalized Difference Vegetation Index (Índice Normalizado de Vegetación)  
**NE:** Noreste  
**p:** Probabilidad  
**pH:** Potencial de hidrógeno  
**Ple tet:** *Plectrocarpa tetracantha*  
**Pro nig:** *Prosopis nigra*  
**Prof:** Profundidad del horizonte superficial arenoso  
**Prov:** Provincial  
**Q:** Bosque quemado  
**R<sup>2</sup>:** Coeficiente de determinación  
**RG:** Receptividad ganadera  
**S:** Sur  
**S:** Entropía  
**SIG:** Sistema de Información Geográfica  
**Ste cor:** *Stetsonia coryne*  
**Sua div:** *Suaeda divaricata*  
**SV:** Salina vegetada  
**SW:** Suroeste  
**T:** Temperatura  
**UVP:** Unidad de valor pastoral  
**vol:** Volúmenes  
**VP:** Valor pastoral  
**W:** Oeste  
**°C:** Grados centígrados  
**µm:** Micrómetros

*“No puedes descender dos veces al mismo río, porque cuando entro de nuevo al río, ni yo ni el río somos el mismo”*

**Heráclito, 535-484 a.C. (Fragmentos)**

*“... si imaginamos una criatura cuyas habilidades son tan particulares que puede seguir cada molécula en su curso, dicho ser, cuyos atributos son esencialmente finitos como los nuestros, sería capaz de hacer lo que es imposible para nosotros. Porque hemos visto que las moléculas en un recipiente lleno de aire a una temperatura uniforme se mueven con velocidades de ninguna manera uniformes, aunque la velocidad media de un gran número de ellos, seleccionados de forma arbitraria, es casi exactamente uniforme. Ahora bien, supongamos que un recipiente se divide en dos tramos, A y B, por una división en la cual hay un pequeño agujero, y que este ser, que puede ver las moléculas individuales, abre y cierra el agujero, con el fin de permitir que sólo las moléculas más rápidas pasen de A a B, y sólo las moléculas más lentas de B a A. Él, por lo tanto, sin gasto de trabajo, eleva la temperatura de B y reduce el de A, en contradicción con la segunda ley de la termodinámica...”*

**James Clerk Maxwell, 1838-1879 (Teoría del calor)**

*“¿Qué se entiende realmente por simplicidad y complejidad? ¿En qué sentido es simple la gravitación einsteniana y complejo un pez de colores? [...] En el seno de la ecología se ha debatido durante décadas si los sistemas «complejos» [...] tienen un poder de recuperación mayor o menor que los sistemas comparativamente «simples». [...] Parece ser que entre los ecólogos se va imponiendo el argumento de que, hasta cierto punto, el ecosistema más complejo es el más resistente”*

**Murray Gell-Mann (El quark y el jaguar)**

## INTRODUCCIÓN

### IMPORTANCIA DE LOS ECOSISTEMAS SALINOS

En la República Argentina, las zonas áridas y semiáridas comprenden un 70% de su superficie total. Las zonas salinas ocupan alrededor de 2,5 millones de hectáreas, de las cuales el 20% corresponden a lagos salinos efímeros o permanentes (Cantero *et al.*, 1998a, 1998b).

La región de Salinas Grandes, ubicada en el centro-oeste, es la principal área salina del país. Posee características particulares que la diferencian de las demás regiones salinas, debido a que en ella confluyen distintas formaciones fitogeográficas, lo que le otorga una amplia diversidad vegetal. Aquí la vegetación se desarrolla en zonas con diferentes características edáficas, formando mosaicos (Ruiz Posse *et al.*, 2007).

En esta región se asientan 26 comunidades de campesinos (ANEXO 1), quienes hacen uso de los recursos naturales. La vegetación local tiene una importancia fundamental desde el punto de vista ambiental, económico y cultural. A fin de entender el uso de los recursos locales realizado por los pobladores de la región, se detallan a continuación los aspectos más importantes, de acuerdo a lo observado por Castro y Forestello (2010).

Los hombres concentran las actividades de atención del ganado: arreo, encierre, prácticas sanitarias, y de venta de ganado mayor, que son facilitadas por el manejo del agua mediante las represas. Este trabajo tiene una lógica muy ajustada en sus técnicas de manejo y tiempos o estacionalidad, con épocas con distintas tareas e intensidades en las mismas.

La primavera es la estación del trabajo más duro, debido a la sequía. La principal actividad es el “baldeo” en los pozos de las represas, desde donde se carga agua en bebederos y se la aproxima a los animales. Previamente se desbarran o destapan los pozos

para poder extraerla. Al mismo tiempo todo el ganado extiende al máximo su zona de pastoreo por la escasez forrajera, especialmente a zonas salinas donde cobra gran importancia el pasto guanaco (*Distichlis acerosa*), simultáneamente a las pariciones de cabras y vacas, por lo que hay que rastrearlos cotidianamente para no extraviar sus crías.

En el verano, la estación de las lluvias, las tareas se ven aliviadas, y debido al calor, éstas disminuyen su intensidad y duración diaria, aunque el rastreo se complica por la presencia de lagunas o aguadas naturales lejos del casco, con la consecuente pérdida de ganado por hurto o extravío. También se aprovecha este tiempo para hacer lazos y otras herramientas en cuero y madera tales como algarrobo, tintitaco (*Prosopis spp.*) o retamo (*Bulnesia retama*), o construir viviendas con barro de las represas y ramas de jarilla (*Larrea spp.*).

En otoño, con menores temperaturas y la abundancia de agua, se aprovecha para construir y reparar cercos con ramas espinudas (por ejemplo lata -*Mimozyanthus carinatus*-) o cardón (*Stetsonia coryne*), potreros, alambrados, corrales, viviendas (principalmente con postes de retamo), abrir nuevos caminos, etc. Es la época de mayor actividad en la recolección de miel de palo instalada principalmente en troncos de cardón, y la caza de animales silvestres.

El invierno es la estación apropiada para cortar maderas en el monte (algarrobo, retamo, quebracho blanco -*Aspidosperma quebracho blanco*-), que luego se usarán en construcciones y reparaciones de todo tipo. En esta época, el pasto que comienza a escasear y la presencia de vientos fríos complican el rastreo del ganado, principalmente de vacas y cabras, las que inician sus pariciones. Es la época preferida para la caza.

Esta estacionalidad del trabajo se debe fundamentalmente al clima de la región, sujeto fundamentalmente a las precipitaciones y las temperaturas, variables que afectan la disponibilidad de recursos vegetales como insumo fundamental para la cría del ganado, la extracción de miel de monte y el aprovechamiento de materias primas para la confección de implementos de campo o artesanías. Específicamente, el uso de forraje por el ganado

sigue una lógica cíclica que depende de la fenología de las especies reguladas por el contenido hídrico del suelo (ANEXOS 8 y 9).

Teniendo en cuenta un enfoque sistémico, estos ecosistemas son sistemas abiertos que intercambian energía y materia con el medio ambiente. Estos flujos producen cambios en el espacio y el tiempo, modificando las comunidades vegetales. En base a estos cambios, es posible definir vectores que muestren las tendencias de las comunidades para llegar a estados maduros o estacionarios, y sus modificaciones por las perturbaciones naturales o antrópicas. Estos ecosistemas pueden ser descritos como sistemas definidos por  $n$  componentes, afectados por  $m$  variables (Jørgensen y Svirezhev, 2004). Este concepto se basa en la observación y el análisis de su estado en el espacio y el tiempo.

Los sistemas salinos son ecosistemas importantes desde el punto de vista del uso y conservación de especies vegetales y animales. La dinámica de las poblaciones vegetales locales se relaciona con la termodinámica ambiental del ecosistema: las sales solubles tienen una influencia importante sobre las poblaciones vegetales, aumentando el potencial osmótico del suelo y reduciendo la capacidad de las plantas de absorber agua (Richards, 1954) por una reducción de su energía libre.

Las áreas salinas son consideradas marginales para el desarrollo de la producción agrícola debido a estas altas concentraciones de sales solubles en el suelo, afectando la capacidad de las especies vegetales para aprovechar el agua del suelo y reduciendo la disponibilidad de algunos nutrientes tales como el fósforo o el nitrógeno. Sin embargo, estas áreas albergan especies de gran potencial productivo, y algunas de ellas son endémicas.

Estos ecosistemas presentan ambientes o zonas diferentes de acuerdo a las características de suelo y vegetación. Estas zonas están asentadas en áreas de topografía variable, de acuerdo a la distancia relativa a áreas serranas y a la formación de médanos, en donde se establece vegetación con características específicas. Plantas adaptadas a la salinidad formarían barreras físicas contra el viento y el agua, acumulando materiales más gruesos transportados por estos agentes (Gutiérrez Elorza, 2008), modificando las

condiciones edáficas (conductividad hidráulica, salinidad, penetrabilidad) y permitiendo el establecimiento de otras especies vegetales menos adaptadas a altas concentraciones salinas (Ruiz Posse *et al.* 2007).

En este sentido, los parches de vegetación en los ecosistemas áridos constituyen microambientes con características particulares en las que las especies vegetales usan los recursos diferencialmente (Whitford, 2002).

Los aspectos fenológicos de las plantas son indicadores de procesos ecofisiológicos y resultado de diferencias morfológicas y genéticas, ya que estas poseen adaptaciones que le permiten utilizar al máximo los recursos que le brinda el microambiente en que viven. La dispersión es el mecanismo que hace de nexo entre la estructura de la vegetación y su dinámica, ya que los propágulos son los responsables de la diseminación de las especies en el espacio y en el tiempo.

La concentración salina del suelo es uno de los factores muy importantes que regula el desarrollo de la flora local influenciando sus procesos fisiológicos y los patrones espaciales de las comunidades vegetales. De acuerdo a las adaptaciones genéticas propias de cada especie, las estrategias reproductivas varían en función de la misma y del ambiente en el cual están instaladas (Richards *et al.*, 2010; Pavón y Briones, 2001; Sívori y Ragonese, 1952).

El conocimiento de las variaciones fenológicas tiene gran importancia para el manejo de la flora (Pavón y Briones, 2001, Petit, 2001; Steyn *et al.*, 1996). Muchas especies (por ejemplo *Allenrolfea patagonica*, *Heterostachys ritteriana*, *Prosopis reptans*, *Tricomaria usillo*, *Geoffroea decorticans*, entre otras -de acuerdo a observaciones personales-) son formadoras de suelo y muchas presentan gran potencialidad económica, ya sea como forrajeras o de uso apícola (ANEXO 8). Por un lado, la modelización de las fechas de floración y fructificación permitiría predecir el comportamiento de las especies vegetales en diferentes zonas, pudiéndose planificar el aprovechamiento de aquellas con importancia ambiental y económica. Esto trae aparejado un mejor conocimiento de la

dinámica ambiental proporcionando herramientas para la conservación y el uso sustentable de los recursos en el espacio y el tiempo.

## **ANTECEDENTES**

La información disponible sobre el área de estudio y sobre el comportamiento de este tipo de sistemas es escasa (Cantero *et al.*, 1998b). Sin embargo, se han hecho algunos estudios sobre suelo, geología y geomorfología (Miró *et al.*, 2005; Dargám, 1995; Zamora, 1990) donde se describen la taxonomía del suelo y las unidades geomorfológicas. Además, estudios de vegetación fueron hechas por Ragonese (1951) quien describe las comunidades, la riqueza florística, e identifica las especies endémicas. Sívori y Ragonese (1952) estudiaron los valores de potencial osmótico de las plantas locales, y evaluaron la capacidad de algunas plantas para absorber agua del suelo. Recientemente, una clasificación ambiental más detallada de la zona ha sido realizada por Ruiz Posse *et al.* (2007) y un libro sobre aspectos generales de la región ha sido publicado por Coirini *et al.* en 2010, abarcando temas ambientales y manejo de recursos naturales locales. Pueden encontrarse también trabajos que han sido publicados en revistas científicas (ANEXOS 8, 9 y 10), y que resultan de la investigación plasmada en esta tesis.

En otras zonas del país, Abril *et al.* (2009), Oesterheld *et al.* (2005) y Cantero *et al.* (1998a, 1998b) analizaron las relaciones suelo-planta en ecosistemas salinos semiáridos y subhúmedos, destacando la importancia de la topografía, salinidad, fertilidad del suelo y la influencia de la capa freática sobre el desarrollo de las comunidades vegetales.

A nivel mundial, Syed *et al.* (2011), Cañadas *et al.* (2010), Buxbaum y Vanderbilt (2007), McTainsh y Strong (2007), Barrett (2006), Pérez González *et al.* (2006), Harper y Gilkes (2004), Abd El-Ghani y Amer (2003), Álvarez Rogel *et al.* (2001), García *et al.* (1993), entre otros, estudiaron las relaciones suelo-planta en zonas de características similares a nuestra área de estudio. Se analizaron variables edáficas (granulometría, materia orgánica, potencial osmótico y mátrico, topografía, densas capas, profundidad del perfil), de vegetación (mecanismos osmoregulatorios, cubierta vegetal, aportes de materia orgánica al suelo, profundidad de raíces), hídricas (sequía, lluvias estacionales, profundidad del nivel freático) y climáticas (viento, insolación, humedad atmosférica).

Richards *et al.*, 2010, Pavón y Briones (2001), Abd El-Ghani (1997), Fresnillo Fredorenko *et al.* (1996), Steyn *et al.* (1996), Friedel *et al.* (1994) y Gutterman (1991) mencionan que las principales causas que afectan la fenología reproductiva vegetal corresponden a factores climáticos, principalmente precipitaciones (asociadas al contenido de humedad de los suelos), temperatura, y en menor medida fotoperíodo. Algunas especies vegetales de zonas áridas se han adaptado para permitir su supervivencia y reproducción generando propágulos que puedan desarrollarse en épocas favorables, ya sea durante la ocurrencia de lluvias, o coincidente con el incremento poblacional de ciertos animales que favorecen la propagación de dichas estructuras reproductivas (Pavón y Briones, 2001; Petit, 2001).

## **PLANTEO DEL PROBLEMA**

Tanto la estructura como la dinámica de los sistemas salinos están poco comprendidos, por lo que con este trabajo se pretende contribuir a comprender la ecología de la vegetación de estas regiones, tomando como área de estudio las Salinas Grandes de Catamarca.

Las actuales condiciones ambientales y acciones antrópicas (deforestación, sobrepastoreo, erosión, salinización, sequía), y sus consecuencias socioeconómicas (baja productividad, pobreza, conflictos por la tierra, conflictos entre los pobladores) han producido en el área de estudio el deterioro del uso tradicional de los recursos naturales, por lo que es necesario adecuar nuevas pautas de manejo ajustadas a estas nuevas condiciones.

El uso actual de los recursos forrajeros del área consiste en un pastoreo extensivo rotativo a lo largo del año, a través del uso de diferentes sitios, de acuerdo con la cantidad y calidad de forraje (Cavanna *et al.*, 2010). El alambrado de las tierras para su delimitación, como estrategia desesperada de defensa en la tenencia de sus tierras, provoca la reducción del área de pastoreo y el número de especies disponibles para los animales, aumentando la presión ganadera y facilitando los procesos degradativos del medio. Debido a esto, es necesario estudiar la estructura y la dinámica del sistema, la influencia de las



variables edáficas y topográficas, y el impacto sobre la receptividad ganadera y el potencial productivo en cada zona.

## **HIPÓTESIS DEL TRABAJO**

Los suelos con menor salinidad y mayor espesor de los horizontes superficiales arenosos en Salinas Grandes (Catamarca, Argentina) permiten el desarrollo de comunidades vegetales con mayor biodiversidad, mayor resiliencia ambiental y mayor potencial productivo.

## **OBJETIVO GENERAL**

Identificar y comprender las relaciones funcionales entre suelo y vegetación en el área de las Salinas Grandes (Catamarca).

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Identificar y caracterizar los recursos edáficos y vegetación de la región.
2. Comprender el comportamiento del agua y el viento, regulados por las características del suelo y la topografía.
3. Interpretar la dinámica de la fenología de las especies locales en relación a las variables climáticas y edáficas.
4. Modelar las correlaciones entre las variables edáficas y la vegetación local.
5. Explicar la dinámica de las comunidades vegetales desde un punto de vista termodinámico.
6. Evaluar la resiliencia de cada zona o sub-ambiente y su productividad potencial.

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la porción más austral de la Provincia de Catamarca (Argentina). Se establecieron como límites las Rutas Nacionales N°60 y N°157 hacia el este, la Ruta Provincial N°20 hacia el norte, y los límites políticos con las Provincias de la Rioja y Córdoba hacia el oeste y sur respectivamente (Figura 2.1). El estudio cubre un área de 400.000 hectáreas, desarrollándose entre 150 y 250 metros sobre el nivel del mar (msnm). Las coordenadas geográficas extremas son 29°16'17"S - 65°03'25"W hacia el norte, 29°36'30"S - 65°31'47"W hacia el oeste, 29°36'24"S - 64°50'55"W hacia el este, y 30°07'14"S - 65°24'43"W hacia el sur.

La región se caracteriza por un clima continental, mesotérmico, semiárido, con inviernos secos, altas variaciones térmicas, importantes oscilaciones en las precipitaciones y altas tasas de evapotranspiración. El promedio de las precipitaciones anuales varía entre 300 y 500 mm, presentándose predominantemente entre noviembre y marzo, mientras que los meses más secos son junio, julio y agosto (Ruiz Posse *et al.*, 2007). La evapotranspiración potencial anual es de 950 mm, lo que resulta en déficit hídrico durante todo el año (Zamora, 1990). La temperatura media anual es de 20,5°C (Dargám, 1995), con temperaturas máximas y mínimas absolutas de 42 y -6°C, respectivamente. Las heladas se producen entre abril y septiembre, aunque son de baja frecuencia (Ruiz Posse *et al.*, 2007). Los vientos son relativamente frecuentes, con dirección norte-sur y de este-oeste durante los meses más secos (Contreras *et al.*, 2010).

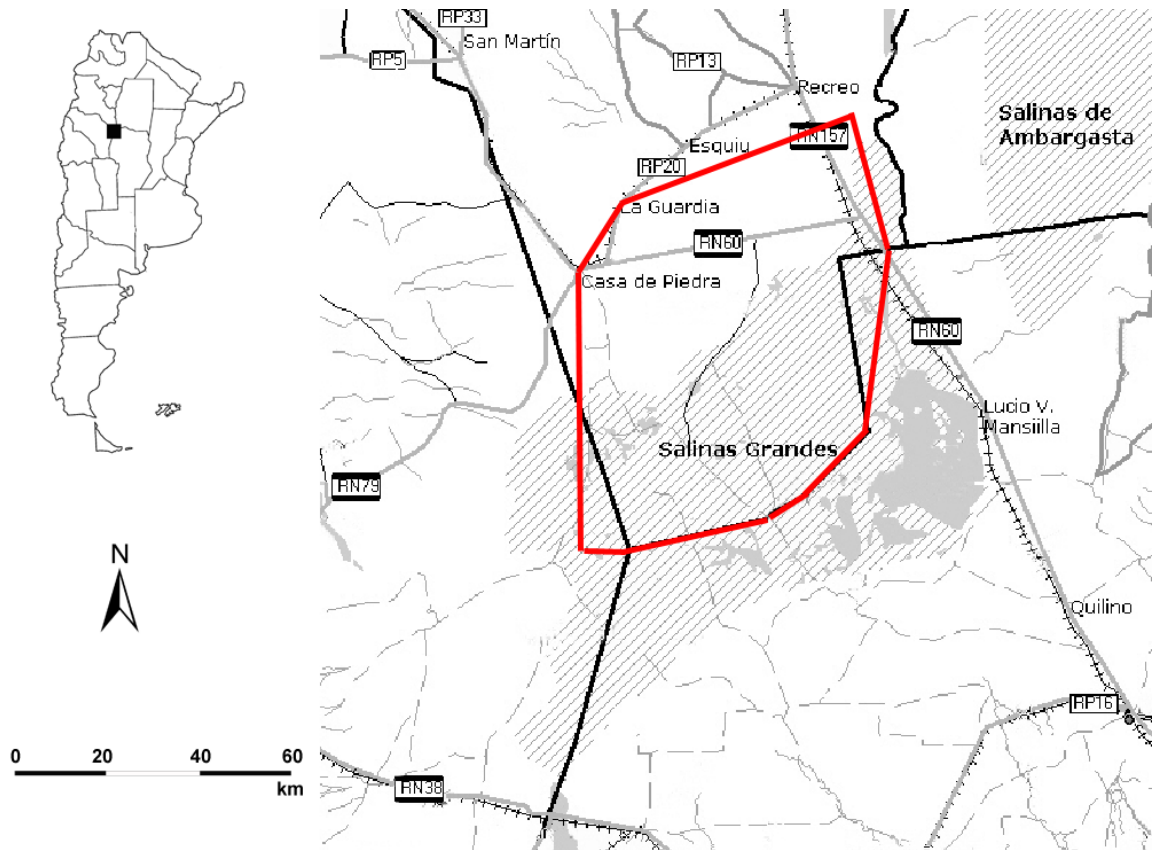


Fig. 2.1: Ubicación del área de estudio. En rojo, los límites preestablecidos del área de estudio. Fuente: Proyecto Mapear V.9.00.

En esta cuenca endorréica se reconocen tres geformas de primer orden: abrupto de falla, bajada y playa (Capitanelli, 1979). La primera corresponde a las montañas circundantes correspondientes a las Sierras de Ancasti, Portillo y Recreo en Catamarca, Sierras Brava, de la Higuera y Los Cerrillos en La Rioja (Miró *et al.*, 2005), y Sierra Norte y norte de la Sierra Grande en Córdoba (Zamora, 1990). La segunda está formada por los taludes entre las montañas. La última, formada por materiales aportados por conos de deyección y sedimentos aportados por los cursos de agua torrenciales.

La bajada presenta mayor pendiente en la Provincia de Córdoba que del lado de Catamarca, por lo que es posible encontrar diferentes manifestaciones de las geformas en un lado y en otro. En el área de Catamarca los cambios geomorfológicos son más graduales, por lo que se dificulta establecer límites entre las unidades ambientales.

Dentro de las geoformas de primer orden “bajada” y “playa” se pueden identificar aquellas de segundo (llanuras marginales y depresiones salinas) y tercer orden (planicies aluviales, barreales, playas salinas, lagunas y salinas) (Figura 2.2):

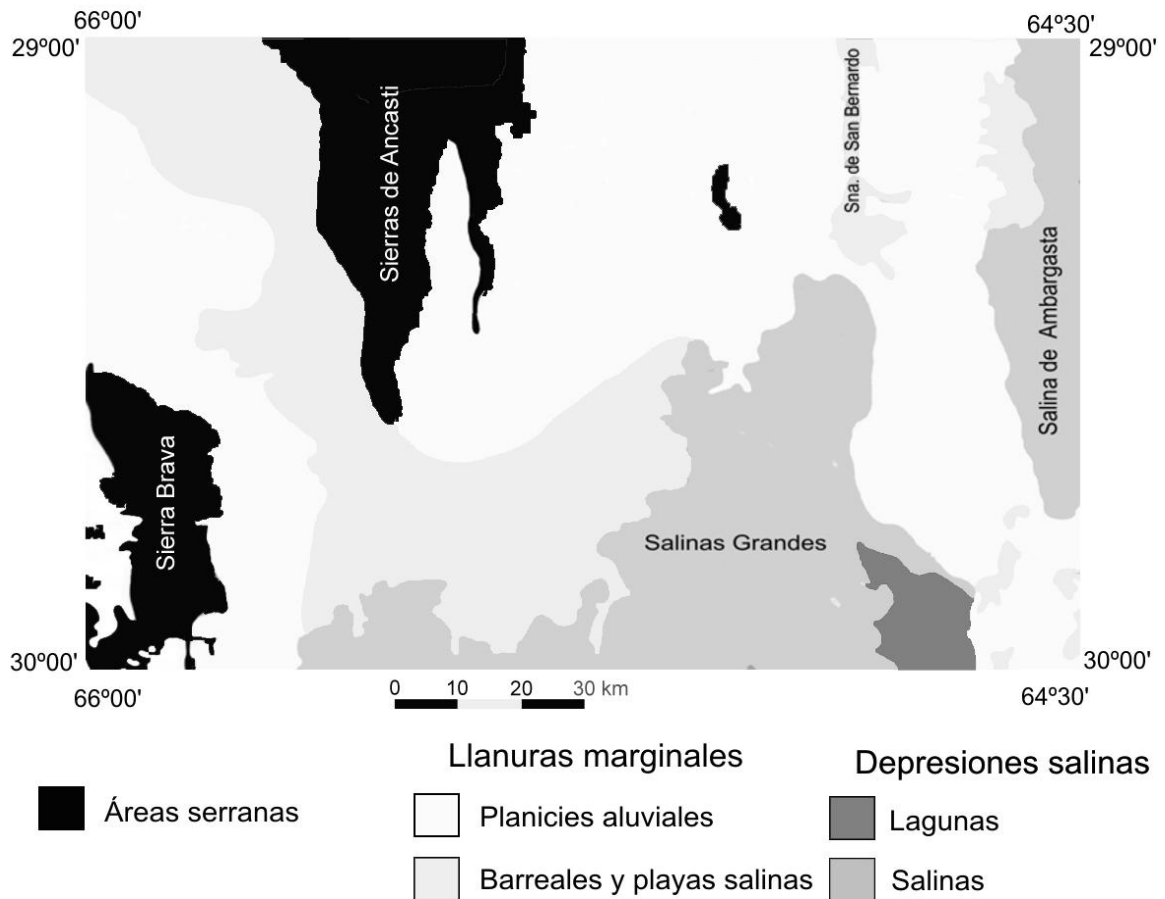


Fig. 2.2: Esquema geomorfológico del área de estudio (modificado de Miró *et al.*, 2005). Debido a la escala del mapa no es posible mostrar las dunas.

❖ Llanuras marginales:

- Planicies aluviales: Son llanuras aluviales ubicadas al este de la Sierra de Ancasti y limitadas al este por la Sierra de Recreo y un alto estructural visible al este de la Ruta N°38 entre Lucio V. Mansilla y Totoralejos, en coincidencia con una falla de extensión regional (Recreo-Las Salinas). Las planicies aluviales no han desarrollado cursos de agua permanentes ni sistemas de terrazas (Miró *et al.*, 2005). Las pendientes medias son superiores al 1% (Ruiz Posse *et al.*, 2007). Estas

planicies son de suelos de textura franca con fracción de arenas gruesas, alternando con sectores franco arenosos en capas (Zamora, 1990). Los depósitos sedimentarios superficiales provienen de épocas donde la humedad fue mucho mayor que en el presente; en la actualidad, después de lluvias intensas, tan sólo pequeños flujos laminares se deslizan por las lomas y suaves pendientes locales, pero mayormente en flujos concentrados por el centro de los colectores, desapareciendo a medida que se aproxima a la depresión salina (Zamora, 1990).

- Playas salinas: Son áreas bajas con suelos arcillosos debido a la acumulación de material fino por acarreo fluvial proveniente de zonas aledañas más altas, intercaladas por dunas. Presentan suelos de alto contenido de sales solubles y deposición de materiales arenosos finos en superficie.
  
- ❖ Depresiones salinas: Constituyen, junto a las Salinas de Ambargasta, San Bernardo y La Antigua, uno de los sistemas hipersalinos más grandes del mundo (Dargám, 1995).
  
- Salinas (ANEXO 2, Figura A2.1): Llanura de sedimentos limo arcillosos ocupados por sales y parches de vegetación halófitas. Las costras salinas finas y ampollas salinas son características de estas geoformas (Dargám, 1995). Las pendientes de estas geoformas son menores al 0,1% (Ruiz Posse *et al.*, 2007). Ocasionalmente el área central de este ambiente es ocupado por lagunas salinas efímeras (Dargám, 1995). La freática se encuentra cercana a la superficie provocando la deposición de sales solubles al producirse ascenso capilar del agua. Al bajar la napa en época seca, la evaporación promueve la precipitación y cristalización de las sales. La presencia de la napa freática cerca de la superficie limita los procesos de deflación, con lo que en épocas húmedas se restringe el arrastre de materiales por acción eólica (Yechieli y Wood, 2002).
  
- ❖ Dunas (ANEXO 2, Figura A2.5): Estos ambientes geomorfológicos se encuentran predominantemente en una franja ubicada en el límite entre las salinas y las playas (Zamora, 1990), aunque es posible verlas también intercaladas dentro de dichas geoformas. Están formadas en su mayor parte por sedimentos eólicos de textura

arenoso francas fina, susceptibles a la erosión eólica e hídrica. Consisten en lomadas medanosas formadas por procesos de deflación de la cuenca, disponiendo las dunas en forma NE-SW, y fijadas por vegetación local que puede ser halófito en el pie del médano o xerófilo en las crestas.

Los efectos de los procesos de deflación y erosión eólica de zonas más elevadas, actualmente acelerados por el sobrepastoreo y la tala, pueden verse en acumulaciones arenosas a sotavento de obstáculos representados por matas y arbustos (Zamora, 1990), constituyendo la fase inicial de la construcción de médanos.

Los suelos difieren entre los ambientes por su contenido de sales solubles. Los suelos de las áreas bajas presentan mayor contenido de sales solubles, manifestándose por la presencia de costras salinas y plantas halófitas, que difieren de aquellos de las zonas altas. Los suelos de áreas bajas presentan horizontes arcillo-limosos, mientras que en zonas altas predominan los suelos franco-arenosos o arenoso-francos (Ruiz Posse *et al.*, 2007).

## **APLICACIÓN DE TELEDETECCIÓN Y ZONIFICACIÓN**

Varias zonas fueron identificadas de manera preliminar en el área de estudio a través de técnicas de teledetección, utilizando como base cartográfica cartas del Instituto Geográfico Militar (IGM) en escala 1:100.000, SIG-250 del Instituto Geográfico Militar (IGM) y mapas de rutas de la Provincia de Catamarca. Se utilizaron imágenes orbitales de Landsat 7 ETM + (path/row 230 80 y 230 81), correspondientes al 30 de enero de 2003. Mediante técnicas de análisis visual de la composición de falso color estándar (RGB 543) y el Índice Normalizado de Vegetación (NDVI), y en base a la identificación del campo, se seleccionaron 42 zonas de muestreo para ser utilizadas como áreas de entrenamiento (ROI).

Con el algoritmo de Mahalanobis se hizo una pre-clasificación con el fin de estimar las probabilidades a priori de cada clase para el clasificador de máxima similitud. La clasificación final se hizo con seis bandas de la imagen, además de los NDVI como grupo artificial (Ruiz Posse *et al.*, 2007). Si bien la influencia del suelo en la reflectividad es importante en áreas descubiertas, las áreas de interés para el estudio correspondían a zonas

con una cobertura de vegetación superior al 80%, con lo cual el NDVI se ajustó adecuadamente a las condiciones reales de campo de la costa salina.

Finalmente, se obtuvo una imagen con cinco clases. Esta imagen permitió identificar unidades homogéneas y definir las zonas de muestreo. El software utilizado para realizar esta tarea fue ENVI 3.5.

Aplicando el método de Evaluación Ecológica Rápida (Sayre *et al.*, 2000), se realizó una primera aproximación de la presencia de vegetación para cada zona a través de entrevistas semi-estructuradas con los pobladores locales y se hicieron observaciones visuales de cada unidad fisiográfica, clasificada y apoyada por la cartografía básica, captando la percepción local sobre las características ecológicas del área de estudio y sus problemas ambientales.

Las entrevistas tuvieron el objetivo de reunir la experiencia y el conocimiento de la población acerca de los ambientes, la dinámica y el uso de los recursos naturales en diferentes momentos del año, reconociendo la historia productiva de la región, descrita en Cavanna *et al.* (2009). El modelo de entrevista puede consultarse en el ANEXO 11.

A través de la cartografía básica, entrevistas y observaciones de campo, las zonas fueron identificadas y clasificadas definitivamente. Estas se describen en Ruiz Posse *et al.* (2007) y fueron re-clasificadas para esta tesis.

La vegetación nativa y el régimen de pastoreo se describen en detalle en Cavanna *et al.* (2010; ver ANEXO 8) y Ragonese (1951).

## **RELEVAMIENTO DE LA VEGETACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES INDICADORAS**

En base a observaciones realizadas por Ragonese (1951) y estudios de campo, fueron identificadas en toda la región 176 especies vegetales (ANEXO 3) durante el periodo 2005-2008. Las observaciones preliminares sugieren que la composición florística

de la vegetación se correlaciona con la fisonomía de cada sitio o sub-ambiente (en adelante “zonas”); por esta razón se aplicó el método de Muestreo Aleatorio Estratificado (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974).

Se realizaron 70 relevamientos florísticos en diferentes sitios de la región, sobre superficies de aproximadamente 1 ha cada uno. Los relevamientos se basaron en el método fitosociológico de Braun Blanquet (Braun Blanquet, 1979; Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Roig, 1973). De los 70 sitios relevados, 50 sitios corresponden a tierras bajas y 20 a tierras altas. El número de relevamientos realizados dependió de la variabilidad en el número de especies encontradas. Sobre el total de los sitios, 27 sitios representativos de cada clase (de acuerdo a la fisonomía) fueron seleccionados para el estudio de suelos (Figura 2.3, Tabla 2.1). Uno de estos sitios corresponde a un bosque quemado (Q, sitio 328) identificado en la región. Dentro de estos 27 sitios seleccionados se identificaron 99 de las 176 especies reconocidas en toda el área de estudio. En los sitios seleccionados, se estimaron los valores de dominancia-abundancia y de cubierta vegetal, tanto para estación seca como lluviosa. El área de umbral mínimo de superficie de cada sitio de muestreo se definió por la aparición de un 95% de la suma de todas las especies reconocidas para cada zona, sobre la base de los relevamientos florísticos previos (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974). En base a los valores de dominancia-abundancia se construyó una tabla fitosociológica sintética aplicando los valores modales de cada zona y sin considerar las especies raras y de cobertura insignificante.

Los valores de abundancia-dominancia se transformaron en valores de porcentaje de cobertura basado en el punto medio de cada valor de la escala de abundancia-cobertura (Wikum y Shanholtzer, 1978):

- + : Individuos raros o poco frecuentes con cobertura insignificante: 0,5%
- 1 : Individuos abundantes, pero con cobertura insignificante: 2,5%
- 2 : Individuos en número variable, pero con cobertura de hasta  $\frac{1}{4}$  de la superficie total: 15%
- 3 : Individuos en número variable, con cobertura entre  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  de la superficie total: 37,5%
- 4 : Individuos en número variable, con cobertura entre  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{3}{4}$  de la superficie total: 62,5%
- 5 : Individuos en número variable, con cobertura superior a  $\frac{3}{4}$  de la superficie total: 87,5%



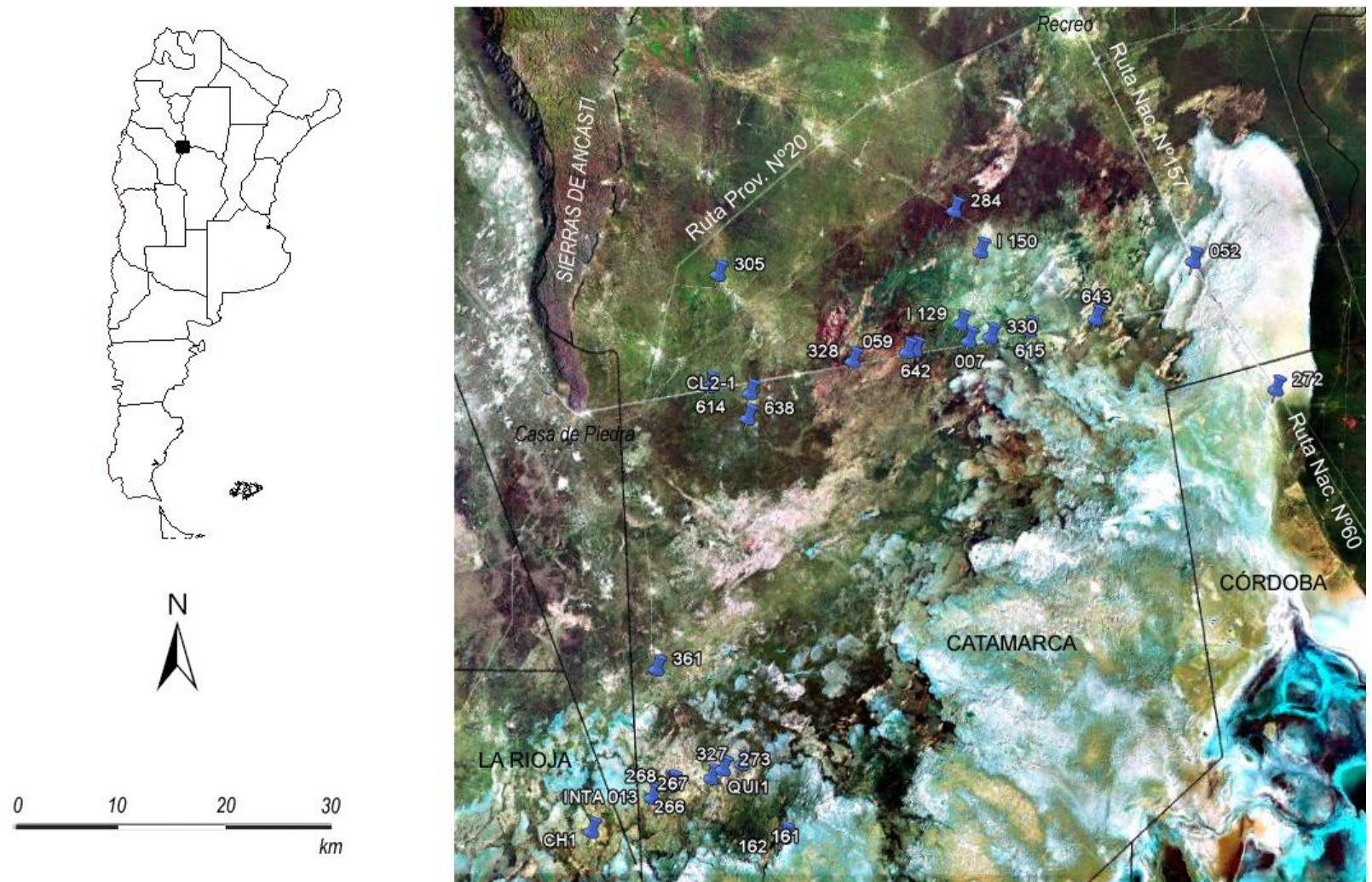


Fig. 2.3: Mapa de ubicación de sitios de muestreo. Imagen Landsat 7 ETM + (path/row 230 80 y 230 81), 30 de enero de 2003.

Tabla 2.1: Coordenadas geográficas y altitud de los sitios de muestreo.

N°	Sitio	Coordenadas geográficas	Altura (msnm)
1	272	29°35'12.1"S 64°51'48.6"W	177
2	052	29°28'53.0"S 64°56'17.3"W	183
3	162	29°57'12.6"S 65°19'41.7"W	185
4	643	29°31'46.0"S 65°02'01.1"W	185
5	615	29°32'21.2"S 65°05'47.9"W	186
6	161	29°57'13.5"S 65°19'37.3"W	187
7	330	29°32'42.0"S 65°08'00.7"W	187
8	I129	29°32'00.3"S 65°09'37.1"W	188
9	007	29°32'50.5"S 65°09'12.3"W	188
10	INTA 013	29°55'19.4"S 65°27'09.5"W	189
11	273	29°53'55.2"S 65°23'08.1"W	190
12	642	29°33'19.2"S 65°12'16.2"W	190
13	QUI1	29°54'20.8"S 65°23'48.1"W	190
14	059	29°33'27.8"S 65°12'43.4"W	190
15	267	29°54'39.1"S 65°26'03.3"W	191
16	268	29°54'44.1"S 65°26'07.0"W	191
17	327	29°53'38.4"S 65°22'05.4"W	191
18	I150	29°28'26.9"S 65°08'33.9"W	191
19	266	29°54'44.2"S 65°26'14.9"W	192
20	CH1	29°56'58.4"S 65°30'37.8"W	192
21	361	29°48'58.9"S 65°26'54.9"W	196
22	284	29°26'26.8"S 65°10'03.8"W	197
23	638	29°36'40.2"S 65°21'45.0"W	206
24	614	29°35'08.6"S 65°23'54.8"W	215
25	CL2-1	29°35'25.4"S 65°21'36.1"W	217
26	328	29°33'51.7"S 65°15'48.0"W	228
27	305	29°29'36.5"S 65°23'25.9"W	245

Para cada sitio de muestreo se obtuvieron medidas de frecuencia y cobertura, utilizando el método de Point Quadrat modificado (Passera *et al*, 1986; Daget y Poissonet, 1971; Levy y Madden, 1933), identificando cada especie muestreada y obteniendo valores que fueron comparados con los de la abundancia-dominancia. Este método se basa en la determinación de cobertura forrajera (*Cob*) y la receptividad ganadera (*RG*) (Passera *et al.*, 1986), mediante el cálculo de la contribución específica por contacto (*CEC*), la cual se define como el cociente entre el número de contactos ( $C_i$ ) de una especie y la suma de los contactos de todas las especies relevadas sobre 100 puntos de una transecta de 30 m. Posteriormente se determinó el valor pastoral (*VP*) como una expresión sintética de la capacidad forrajera de las plantas, expresado en Unidades de Valor Pastoral (*UVP* ha<sup>-1</sup>).

$VP$  se determina atribuyendo a cada especie un Índice de Calidad Específica ( $ICE_i$ ), el cual varía entre 1 para las especies de baja calidad forrajera, y 10 para especies de alta calidad forrajera. Este índice se basa en el valor nutritivo, palatabilidad, forma de vida y época del año en que es consumida (Passera y Borsetto, 1986). La receptividad ganadera se calculó mediante las siguientes fórmulas:

$$CEC_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \times 100 \quad (\text{ec. 2.1})$$

$$VP = 0.1 \times \left( \sum_{i=1}^n CEC_i \times ICE_i \right) \times Cob, \text{ expresado como } UVP \text{ ha}^{-1} \quad (\text{ec. 2.2})$$

$$RG = \frac{100}{VP}, \text{ expresado como ha } EV^{-1} \quad (\text{ec. 2.3}),$$

donde  $EV$  es un Equivalente Vaca, definido como la cantidad de forraje necesario para mantener una vaca de 400 kg con un ternero al pié de 120 kg (1  $EV$ ). Un  $EV$  es mantenido con 100  $UVP$  (Passera y Borsetto, 1986).

La determinación de la receptividad ganadera a través del método Point Quadrat modificado (Passera *et al.*, 1986) incluye no sólo la cobertura vegetal, sino también la palatabilidad de cada especie relevada. Este método es el que mejor se adapta a las condiciones locales, debido al hecho de que para la validación del método, muchas de las especies estudiadas por Passera *et al.* (1986) fueron las mismas que se encontraron en el área de estudio.

Para estas determinaciones, sólo fueron utilizados los datos de 26 sitios debido a dificultades en el acceso durante la estación lluviosa. Para el análisis de las relaciones estructurales suelo-planta no se tuvo en cuenta el sitio Q, con lo que el número de sitios analizados para esta variable fue de 25.

## **RELEVAMIENTO FENOLÓGICO**

Se determinó la fenología reproductiva de 112 especies vegetales pertenecientes a 37 familias representativas de la zona (Tabla ANEXO 4), a través de observaciones visuales en toda el área de estudio, con el fin de absorber la variabilidad climática. Los datos fenológicos fueron tomados aproximadamente cada 15 días durante dos años, al azar en distintos puntos de la cuenca, identificando la zona al cual pertenecían las especies consideradas.

Las fechas de ocurrencia de las fenofases fueron tabuladas tomando el valor medio de cada población en determinado sitio, siendo la superficie relevada de cada uno variable en función del tamaño de cada parche de vegetación. Los criterios para la determinación de las fenofases se basaron en el Registro Fitofenológico Integral de Ledesma (1953), el cual está adaptado para el Chaco Seco. Las fenofases son las siguientes:

- Inicio de floración: 10% de las plantas de una comunidad con flores, o presencia de botón floral.
- Plena floración: al menos el 50% de las plantas de una comunidad con flores.
- Fin de floración: decaimiento de flores en las plantas de una comunidad o últimas flores producidas superpuestas con el comienzo de fructificación.
- Inicio de fructificación: 10% de las plantas de una comunidad con frutos, o comienzo de cuajado de flores.
- Plena fructificación: al menos 50% de las plantas de una comunidad con frutos.
- Fin de fructificación: madurez de frutos o caída de frutos según especie.

## **RELEVAMIENTO CLIMÁTICO, EDÁFICO Y TOPOGRÁFICO**

Para el análisis fenológico se analizaron las precipitaciones correspondientes al ciclo estudiado (2007-2009), medidas con pluviómetros en cuatro puntos estratégicos del área de estudio a través de estaciones meteorológicas instaladas en dichos sitios.

Las coordenadas de ubicación de los pluviómetros con los siguientes: El Clérigo, 29°35'39.94"S- 65°21'47.59"O; Km 969, 29°25'41.83"S- 64°58'7.45"O; Palo Santo, 29°53'13.68"S- 65°17'40.89"O; Quimilo, 29°54'9.73"S- 65°23'49.06"O.

Se excavaron calicatas de 1 m de profundidad en los 27 sitios previamente seleccionados, representativos de las diferentes zonas, identificando los horizontes de cada perfil de suelo, definiendo la textura al tacto de cada uno (Yolcubal *et al.*, 2004). Se midió la profundidad de la capa superior del suelo (*Prof*) en el momento de la excavación de las calicatas. En cada sitio se realizaron muestreos de suelo en época seca y época húmeda, extrayendo 12 a 15 sub-muestras por sitio de forma aleatoria de la capa superficial del suelo y 5 sub-muestras para horizontes subsuperficiales, cubriendo el área completa de cada parche, definida por su vegetación. Las sub-muestras fueron compuestas en una muestra por sitio y por horizonte.

En 25 sitios se extrajeron muestras de densidad aparente (*Dap*) con cilindro Copecki a profundidades de 0-7 cm y 10 a 17 cm, las cuales fueron secadas a estufa y pesadas (Yolcubal *et al.*, 2004).

En laboratorio de suelos, previo secado y tamizado (con malla de 2 mm) de las muestras compuestas, se midió la conductividad eléctrica y *pH* mediante un conductímetro/potenciómetro sobre la suspensión de suelo/agua 1:1 de cada muestra compuesta (Richards, 1954) para la estación seca ( $CE_s$ ,  $pH_s$ ) y húmeda ( $CE_h$ ,  $pH_h$ ).

En laboratorio de suelos se determinó el porcentaje de arenas (*Ar*) de los dos primeros horizontes de cada perfil, teniendo en cuenta los cambios en textura identificados a campo. Para esto se trataron las muestras de suelo (20 g) con ácido acético 1:1 y peróxido de hidrógeno (100 vol) en cantidad suficiente, a fin de eliminar carbonatos y materia orgánica, respectivamente. Posteriormente, las muestras fueron dispersadas con 20 ml de hexametáfosfato de sodio 0,1 N, 1 ml de hidróxido de sodio 1 N y ultrasonido, fueron tamizadas en mallas 270 (53  $\mu$ m) y secadas a estufa, para ser pesadas posteriormente. Se determinó porcentaje de carbonatos (*Cb*) a través del método rápido de titulación de Piper

(IUSS-WRB, 2007). A la fracción de arenas se le descontó el contenido de humedad y de carbonatos.

Se obtuvieron los valores de altitud en cada sitio mediante GPS. Se calculó la profundidad del agua subterránea en base a datos relevados por Dargám (1995) a través de regresiones lineales entre la profundidad de las napas en cada punto medido por este autor y la altitud sobre el nivel del mar correspondiente a cada punto. En zonas bajas se midió la profundidad del nivel dinámico del agua subterránea directamente sobre las calicatas.

## **ANÁLISIS MATEMÁTICO Y ESTADÍSTICO**

Se calcularon los valores promedio entre la estación húmeda y seca de la conductividad eléctrica y *pH* de cada sitio y horizonte. Los valores medios de la conductividad eléctrica y *pH* de los horizontes, incluidos entre 0-20 cm de profundidad se utilizaron para calcular una media ponderada, obteniendo valores medios de conductividad eléctrica y *pH* para cada sitio. Los valores de porcentaje de arena y carbonatos de la masa del suelo fueron tratados obteniendo promedios ponderados a partir de los datos obtenidos para los horizontes superficiales a fin de estandarizarlos para una profundidad de 0-20 cm.

Los análisis estadísticos se realizaron con datos cuantitativos sobre la vegetación y el suelo utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2007), definiendo si hubo diferencias significativas entre horizontes (para *Ar* y *Cb*), épocas (para *CE* y *pH*) y zonas a través de análisis de la varianza (ANAVA; LSD Fisher,  $p < 0,05$ ). Sin embargo, las variables de conductividad eléctrica, profundidad del horizonte arenoso superficial y receptividad ganadera no presentaron una distribución normal (prueba de normalidad Shapiro-Wilks modificado), por lo que se aplicó análisis de la varianza no paramétrica de Kruskal-Wallis, obteniendo diferencias significativas a través de la comparación de pares ( $p < 0,05$ ) (Conover, 1999).

Las relaciones entre las variables de suelo y vegetación medidas fueron determinadas por medio de regresiones lineales, no lineales y múltiples, por medio de análisis “backward” (Di Rienzo *et al.*, 2007). A través de análisis “stepwise”, utilizando el

estadístico Cp de Mallows para cada variable, se seleccionaron para las regresiones de Cobertura, Biodiversidad y Receptividad Ganadera las variables regresoras más importantes, permitiendo así la selección del modelo más robusto (bias) (Di Rienzo *et al.*, 2007), utilizando p-valores menores a 0,05.

Se calculó el Índice de Biodiversidad de Shannon-Weaver (Begon *et al.*, 2006; Wikum y Shanholtzer, 1978) para cada sitio en base a los datos de dominancia y abundancia de la vegetación. Este índice fue desarrollado sobre la base de conceptos termodinámicos de Boltzmann (Begon *et al.*, 2006; Jørgensen y Svirezhev, 2004; Wikum y Shanholtzer, 1978; Odum, 1972):

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \text{ (ec. 2.4)}$$

donde  $p_i = N_i / \sum_{i=1}^n N_i$ , n es el número de especies en la comunidad y  $N_i$  es el tamaño de la población, definida por su frecuencia relativa o cobertura de acuerdo a Wikum y Shanholtzer (1978).

Para cada zona, las poblaciones características o indicadoras fueron definidas a través de una prueba de ANAVA (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ), comparando su frecuencia relativa en cada ambiente.

Para la construcción de las curvas de crecimiento de cada población indicadora, se aplicó el suavizado de una regresión localmente ponderada (LOWESS), ajustada en función de la conductividad eléctrica, sintetizando la relación entre la salinidad y la frecuencia relativa de cada población (Di Rienzo *et al.*, 2007).

Sobre los datos fenológicos, la comparación de las fenofases entre las diferentes zonas de las familias que poseen especies más abundantes, y de las especies generalistas, se hizo a través de un ANAVA (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ) y análisis de conglomerados (distancia: Euclídea). Se realizó para cada familia y cada especie considerada un diagrama de perfiles multivariados a fin de observar tendencias de dichas familias y especies en cada

zona (no se analizó el sitio quemado).

Debido a las grandes distancias requeridas para incluir distintas zonas, no se pudieron relevar la totalidad de fenofases para todas las especies, por lo que los datos faltantes se calcularon en función a análisis de regresión lineal. Para cada variable (inicio, plenitud, final de floración e inicio, plenitud y final de fructificación) se realizaron correlaciones cruzadas en base a coeficientes de correlación de Pearson, teniendo en cuenta los valores de  $R^2$  más altos para cada una.

Se realizó un análisis de conglomerados (distancia: Coeficiente Phi) con los valores de abundancia-dominancia de las 99 especies encontradas, definiendo unidades homogéneas de manejo. Debido a la presencia de especies generalistas, se realizó un análisis de varianza (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ) para identificar especies indicadoras. Esto permitió la identificación de especies dominantes (Roig, 1973) como posibles especies clave para la identificación de diferentes zonas. Se realizó un análisis discriminante con los valores de abundancia-dominancia de las especies indicadoras para la definición de las unidades de manejo.

En relación a la dinámica del sistema, y desde el punto de vista termodinámico, valores más altos de abundancia, frecuencia y número de especies, deben significar una mayor energía acumulada en el sub-sistema (zona) considerado (ANEXO 6).

Si se considera un gradiente de energía, dado por las diferencias entre la biomasa total de cada sub-sistema, mayores diferencias de energía ( $\Delta E$ ) significan que las diferencias entre los sub-sistemas considerados son mayores. Menores diferencias de energía significan que los sub-sistemas (zonas) son similares (al menos desde un punto de vista termodinámico). Por lo tanto, la dinámica de un sistema se puede definir en relación con la acumulación de exergía. La exergía es igual al potencial de Gibbs (energía libre) en el sistema en relación con el mismo sistema cuando se alcanza el equilibrio termodinámico (Jørgensen y Svirezhev, 2004).



La exergía ( $Ex$ ) y los coeficientes de Lyapunov ( $L$ ) están relacionados (ver ecuaciones 2.5 y 2.6).

$$Ex = T (S_i^{eq} - S) \text{ (Jørgensen and Svirezhev, 2004) (ec. 2.5),}$$

$$L = S^{max} - S \text{ (ec. 2.6).}$$

donde  $S$  es la entropía del sistema,  $S^{eq}$  es la entropía del equilibrio termodinámico y  $S^{max}$  es la entropía máxima del sistema en cuestión.

Por lo tanto, la exergía se puede definir a través de un coeficiente de Lyapunov (Jørgensen y Svirezhev, 2004). Es posible modificar la ec. 2.6, en base a la ec. 2.5 bajo condiciones isotérmicas ( $T = \text{const}$ ):

$$L \approx Ex \text{ (eq. 2.7).}$$

Los coeficientes de Lyapunov, definidos como “*la propiedad del comportamiento de un sistema en los alrededores del equilibrio*” (Justus, 2008), fueron calculados como la distancia Euclídea de cada sitio en relación a una condición de referencia teórica, medida a través de las frecuencias relativas de cada población. La distancia entre la situación de equilibrio (o máxima frecuencia relativa esperada de la población  $i, N_i^*$ ) y la situación actual (tamaño actual de la población  $i, N_i$ ), es considerada como la perturbación del sistema respecto al estado de referencia (Justus, 2008). La condición de referencia teórica fue obtenida seleccionando para cada especie, dentro de cada sitio, el valor más alto de abundancia-dominancia observado en la totalidad de los sitios. Este cálculo se realizó para los 26 sitios “quasi-inalterados”, es decir zonas de bajo impacto antrópico, tales como extracción de madera o actividades de pastoreo (se descartó el sitio de bosque quemado, ya que mostraba valores extremos, en comparación con la situación original). Sólo 95 especies fueron seleccionadas para este análisis, descartando los de baja abundancia-dominancia. Los valores de referencia, conocidos como la capacidad de carga máxima teórica (*carrying capacity*) de cada población, corresponden a  $N_i^*$  en los coeficientes de Lyapunov (Jørgensen y Svirezhev, 2004):

$$L = \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n (N_i - N_i^*)^2} \right]^2 ; i=1, \dots, n \text{ (ec. 2.5)}$$

donde  $N_i$  es la situación actual de la población  $i$  en cada sitio.

Un ejemplo para el cálculo de este índice se muestra a continuación: supongamos que una comunidad con dos poblaciones ( $i$ ),  $i=1$  con una frecuencia relativa de 0,25 e  $i=2$  con 0,001, y los valores máximos obtenidos en todo el sistema para ambas poblaciones,  $i^*=1$  con una frecuencia relativa de 0,5 y para  $i^*= 2$  un valor de 0,05, y adicionando una tercera población presente en otra zona,  $i^*= 3$  con una frecuencia de 0,25, el valor de  $L$  para la comunidad de ejemplo es  $L = \left[ \sqrt{(0,25 - 0,5) + (0,001 - 0,05) + (0 - 0,25)} \right]^2 = 0,549$ .

Estos valores se correlacionaron con los datos de conductividad eléctrica del suelo para el análisis del efecto de las sales solubles en el suelo sobre la estabilidad de las comunidades, obteniendo una relación lineal. Después de esto, la función se corrigió mediante la modificación del valor de la ordenada al origen, manteniendo la misma pendiente, coincidiendo con el menor valor de  $L$  obtenido; es decir el sitio menos perturbado, intersecando la función, obteniendo una función que muestra el estado de referencia teórico de las comunidades para cada valor de conductividad eléctrica.

Los coeficientes de Lyapunov también se correlacionaron con el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver, para ver las analogías y diferencias entre estos dos indicadores. La conductividad eléctrica se correlacionó con los datos sobre el espesor del horizonte superficial arenoso y con el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver para el análisis de las relaciones entre cada una de estas dos variables físicas y el comportamiento de las comunidades. La conductividad eléctrica y los coeficientes de Lyapunov se correlacionaron con los valores de receptividad ganadera, obteniendo relaciones que resultan útiles para la predicción de la receptividad ganadera adecuada para cada zona.

Para todas las determinaciones el número de muestras fue de 27 (26 para el caso del análisis de relaciones estructurales suelo-planta, sin tener en cuenta el sitio Q), a excepción de la receptividad ganadera, donde sólo se tomaron 26 (25) muestras, debido a dificultades de accesibilidad. En los resultados (Capítulo 3) se explicitarán los valores de  $n$  utilizados.

### RESULTADOS

#### CARACTERIZACIÓN ZONAL

En base a la clasificación realizada por Ruiz Posse *et al.* (2007), la cual cuenta con diez clases de cobertura de suelo, y como resultado de nuevos análisis de teledetección, observaciones fisiográficas, entrevistas, estudio de la vegetación y determinación de la salinidad del suelo (Tabla 3.2, Figura 3.2), las zonas identificadas fueron re-clasificadas (Figura 3.1) en cinco clases:

1. Zonas Bajas: Estas áreas presentan pendientes inferiores a 0,1%, siendo atravesadas por dunas consolidadas. En la playa, los materiales son depositados por agua de escorrentía y por acción del viento, formando zonas de transición, debido a la variación espacial en la concentración salina del suelo, espesor del horizonte superficial arenoso y clase textural. Es posible identificar las siguientes zonas: Salina Vegetada (SV), Llanos Inundables (LI), y Monte Con Influencia Salina (MCIS).
  - a. Salina Vegetada (ANEXO 2, Figura A2.2): Son llanuras con periodos prolongados de inundación (aproximadamente una semana después de una lluvia), influenciadas por la presencia de una freática fluctuante a poca profundidad durante todo el año. La elevación varía entre 177 y 191 metros sobre el nivel del mar (msnm), y la profundidad del acuífero freático y su nivel dinámico, el nivel freático, varían entre 0,00 y 0,90 m. En estas subzonas se observan lodos arcillosos cubiertos por una fina costra de sal. Pueden observarse pequeños parches de vegetación en el centro de la cuenca, con especies de cierto valor forrajero (Cavanna *et al.*, 2010; ANEXO 8). Los suelos dominantes (Soil Survey Staff, 2010) son *Aquisalids cálcicos* y *Haplosalids gípsicos*. Estos suelos presentan, de acuerdo a la clasificación de Dahnke y Whitney (1988) contenidos salinos muy altos (56,4 +/- 14,7 dS m<sup>-1</sup>). De acuerdo a los censos de vegetación (Tabla 3.1),

dominan en esta zona *Heterostachys ritteriana* (Moq.) Ung.-Sternb. y *Allenrolfea patagonica* (Moq.) Kuntze. Ambas especies crecen juntas, formando comunidades arbustivas bajas y abiertas, con cobertura vegetal escasa. *H. ritteriana* es tolerante a muy altos contenidos de sal en el suelo y a inundaciones periódicas (Sívori y Ragonese, 1952), siendo la primera especie observada desde el centro de la cuenca. A pesar de presentar una menor abundancia, es característica de estas zonas *Distichlis acerosa* (Griseb.) H.L. Bell & Columbus (anteriormente *Monanthochloe acerosa*), un importante pasto estolonífero consumido por el ganado vacuno, especialmente durante el invierno, cuando otras especies forrajeras son escasas en zonas altas. De acuerdo con los datos obtenidos, esta especie aparece asociada a *A. patagonica* y *H. ritteriana*, como consecuencia de los materiales depositados por los procesos fluviales y eólicos, en forma de parches.

- b. Llanura Inundable (ANEXO 2, Figura A2.3): Estas zonas tienen altos a muy altos contenidos salinos (Dahnke y Whitney, 1988) ( $15,3 \pm 5,95 \text{ dS m}^{-1}$ ). Su elevación varía entre 185 y 191 msnm y la profundidad del acuífero freático y su nivel dinámico, el nivel freático, varían entre 1,30 y 3,36 m. En esta zona se identificaron *Haplosalids cálcicos* (Soil Survey Staff, 2010), con contenidos salinos más bajos y con menor frecuencia de inundación que Salina Vegetada. Aparecen algunas especies forrajeras importantes, aumentando la receptividad ganadera. *Atriplex argentina* Speg., *Cyclolepis genistoides* D. Don y *Maytenus vitis-idaea* Griseb. son las especies dominantes. Espesores del horizonte superficial arenoso superiores a 6 cm (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ), permiten el desarrollo de poblaciones de *Stetsonia coryne* (Salm-Dyck) Britton & Rose y *Geoffroea decorticans* (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart.
- c. Monte Con Influencia Salina (ANEXO 2, Figura A2.4): Los suelos presentan una capa superficial franco-limosa a franco-arenosa debido a la acumulación de materiales provenientes de la cuenca depositados sobre

horizontes subsuperficiales de materiales más finos arcillo-limosos. La elevación varía entre 190 y 206 msnm y la profundidad del acuífero freático y su nivel dinámico, el nivel freático, varían entre 3,02 y 8,50 m. Los suelos predominantes son, como en el caso anterior, *Haplosalids cálcicos* (Soil Survey Staff, 2010), con alto contenido salino (Dahnke y Whitney, 1988) (8,23 +/- 3,77 dS m<sup>-1</sup>). Dominan *Mimozyganthus carinatus* (Griseb.) Burkart, *S. coryne*, *M. vitis idaea*, *A. argentina* y *G. decorticans*, y es posible encontrar *Suaeda divaricata* Moq. como especie característica.

2. Zonas Altas: Incluye las Dunas (D) y Monte con Escasa Influencia Salina (MEIS). Estas zonas muestran pendientes superiores al 1% debido a la influencia de las Sierras de Ancasti. No hay especies dominantes y la composición florística se asocia con el grado de perturbación.
  - a. Dunas (ANEXO 2, Figura A2.5): Formadas por deposiciones de arena fina por efecto eólico, debido a procesos de deflación de la cuenca, formando dunas fijadas por la vegetación. La elevación varía entre 190 y 192 msnm y la profundidad del acuífero freático y su nivel dinámico, el nivel freático, varían entre 3,02 y 3,70 m. Estas dunas son longitudinales y muchas de ellas están situadas en paralelo a la costa salina, con un ancho que varía de 30 a 50 m y alturas de hasta 2 m, formando cadenas elongadas en dirección NE-SW, coincidiendo con los vientos predominantes y formando barreras de escorrentía. Los suelos predominantes son *Torrripsaments ústicos y típicos* (Soil Survey Staff, 2010), de textura franco-arenosa fina, con escasos a moderados contenidos salinos (Dahnke y Whitney, 1988) (2,22 +/- 0,90 dS m<sup>-1</sup>). En las partes altas las dunas presentan la vegetación típica de la Provincia Fitogeográfica del Chaco árido, pero mezclada con otros elementos de regiones aledañas. La especie leñosa principal es *M. carinatus*. *Larrea divaricata* Cav. indica sitios degradados. *Aspidosperma quebracho-blanco* Schltdl., *Lycium spp.* y *S. coryne* también son especies importantes.

- b. Monte con Escasa Influencia Salina (ANEXO 2, Figura A2.6): Las especies vegetales y los suelos presentes son típicos de la región del Chaco Árido (Ragonese, 1951). La elevación varía entre 197 y 245 msnm y la profundidad del acuífero freático y su nivel dinámico, el nivel freático, varían entre 5,41 y 21,8 m. Las llanuras aluviales son las geoformas predominantes (Miró *et al.*, 2005). La textura de suelo varía en función a la distancia respecto la Sierra de Ancasti, pero predomina la textura franco-arenosa gruesa. Los grandes grupos de suelo observados estas zonas son *Ustiortents* y *Torriortents* (Soil Survey Staff, 2010), con suelos no salinos a ligeramente salinos (Dahnke y Whitney, 1988) (2,18 +/- 2,12 dS m<sup>-1</sup>). En el estrato arbóreo domina *A. quebracho blanco*. En el estrato arbustivo es posible encontrar *Cercidium praecox* (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms, *L. divaricata*, *L. cuneifolia* Cav., *M. carinatus* y *S. coryne*. *Trichloris crinita* (Lag.) Parodi domina en el estrato herbáceo.

A modo de aclarar conceptos, tanto Monte Con Influencia Salina como Monte con Escasa Influencia Salina hacen referencia al “monte” como sinónimo de “bosque” de acuerdo a las definiciones dadas por las comunidades locales, y no tienen ninguna relación con la Provincia Fitogeográfica del Monte.

## SUELOS

Las calicatas y chequeos realizados a campo permitieron definir los perfiles modales de los suelos pertenecientes a cada zona identificada (Tabla 3.1).

Las variables medidas (conductividad eléctrica, *pH*, espesor del horizonte superficial arenoso, porcentaje de arenas, porcentaje de carbonatos y densidad aparente), fueron graficadas, clasificadas por zonas, y los datos están tabulados por sitio en el ANEXO 5.

La salinidad total, representada por la conductividad eléctrica (*CE*), muestra diferencias significativas (Prueba de Kruskal Wallis; n=26; comparación de pares; gl=25;

H=20,7-22,1; p=0,0004-0,0002 para  $CE_h$  y  $CE_s$  respectivamente) para la zona SV, tanto en temporada húmeda como seca (Figura 3.2) respecto a MCIS, MEIS y D. En las zonas de SV y LI, la conductividad eléctrica se incrementa durante la estación seca. Sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas entre estaciones (Prueba de Kruskal Wallis; n=52; comparación de pares; gl=51; H=0,05; p=0,826).

Tabla 3.1: Caracterización de perfiles modales de cada zona.

Sitio	Horizonte	Espesor cm	Textura al tacto
Dunas (D)	A	0-10	ArF
	C	10-20	ArF
	C <sub>k</sub>	> 20	ArF
Monte con Escasa Influencia Salina (MEIS)	A	0-6	FAr
	AB <sub>k</sub>	6-26	FAr
	B <sub>k</sub>	26-54	F
	C1 <sub>k</sub>	54-104	F
	C2 <sub>k</sub>	> 104	F
Monte Con Influencia Salina (MCIS)	I1 <sub>z</sub>	0-5	ArF
	I2 <sub>z</sub>	5-30	ArF
	II1 <sub>kz</sub>	30-39	ArAc
	II2 <sub>kz</sub>	> 39	ArAc
Llano Inundable (LI)	I <sub>z</sub>	0-8	ArF
	II1 <sub>z</sub>	8-39	FACLim
	II2 <sub>kz</sub>	39-76	FLim
	III <sub>kyz</sub>	> 76	FLim
Salina Vegetada (SV)	A1 <sub>z</sub>	0-15	FACLim
	A2 <sub>kz</sub>	15-22	FACLim
	B1 <sub>kz</sub>	22-28	FACLim
	B2 <sub>kz</sub>	28-41	FACLim
	II1 <sub>z</sub>	41-78	FAr
	II2 <sub>kz</sub>	> 78	FAr

Ref: F= Franco, Lim= Limo, Ar = Arena, Ac = Arcilla.



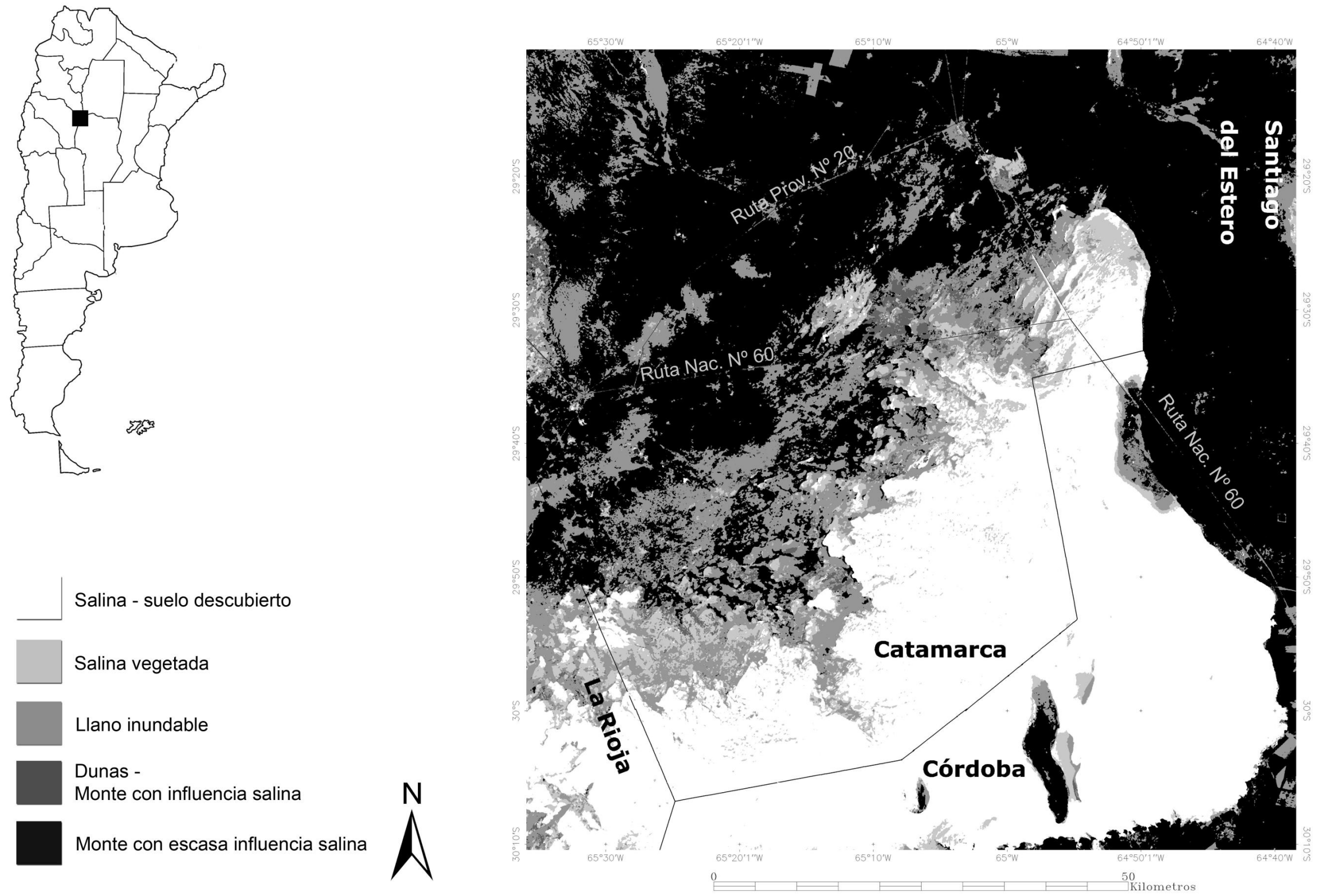


Fig. 3.1: Mapa ambiental del área de estudio con la clasificación final (elaborado por Eduardo Ruiz Posse). Debido a la escala, no se han podido diferenciar las Dunas respecto a Monte Con Influencia Salina.

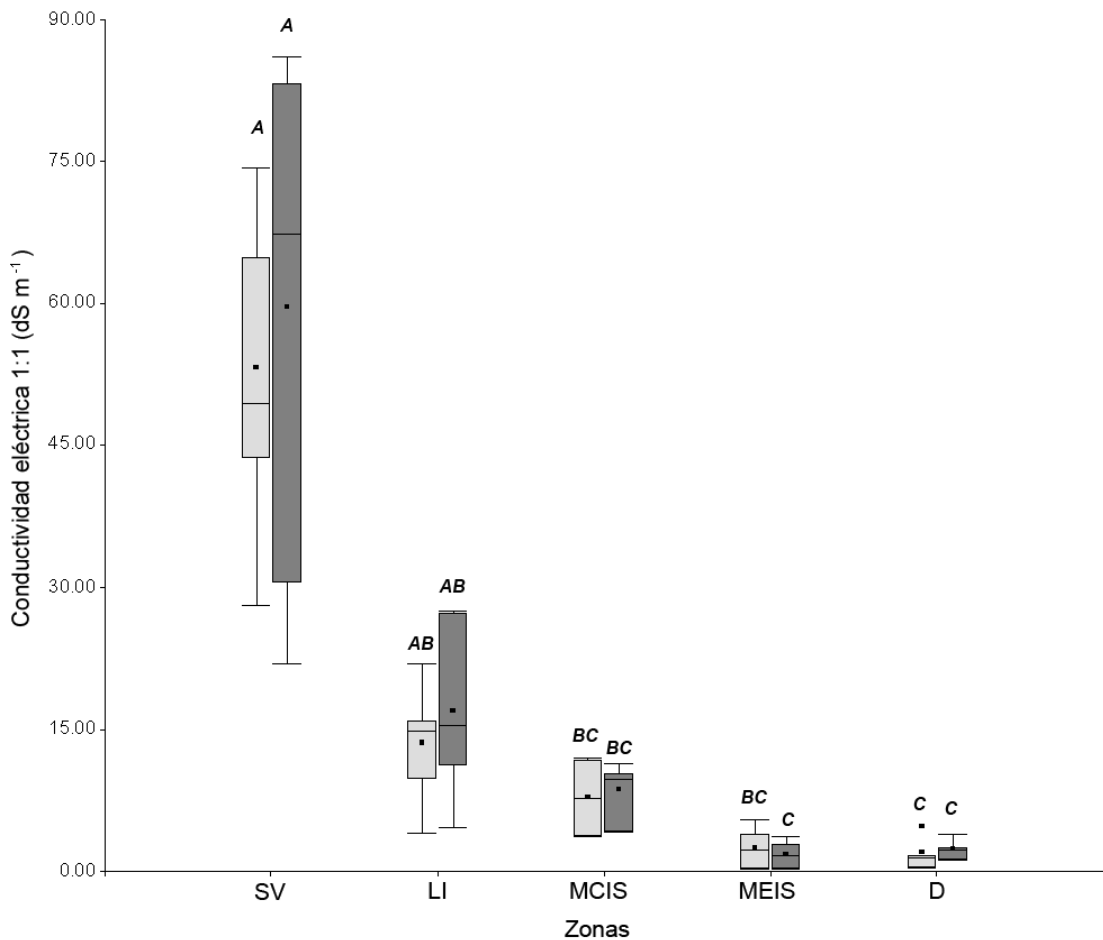


Fig. 3.2: Gráfico box plot para conductividad eléctrica en relación suelo:agua 1:1, 0-20 cm de profundidad ( $\text{dS m}^{-1}$ ) por zona (datos obtenidos a través de promedios ponderados). En gris claro, época húmeda ( $CE_h$ ); en gris oscuro, época seca ( $CE_s$ ). Test de Kruskal-Wallis. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $n=26$ ; comparación de pares;  $gl=25$ ;  $H=20,7-22,1$ ;  $p=0,0004-0,0002$  para  $CE_h$  y  $CE_s$  respectivamente) entre zonas dentro de cada estación. Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

El  $pH$  del suelo (Figura 3.3) muestra una diferenciación similar a la obtenida para la conductividad eléctrica. SV muestra mayores valores medios ( $8,04 \pm 0,21$  y  $7,84 \pm 0,32$  para la temporada húmeda y seca, respectivamente). SV, LI, MCIS y MEIS tienden a presentar mayores valores medios de  $pH$  durante la temporada de lluvias, pero no se encontraron diferencias significativas con la estación seca (LSD Fisher;  $n=52$ ;  $gl=51$ ;  $F=1,16$ ;  $p=0,288$ ).

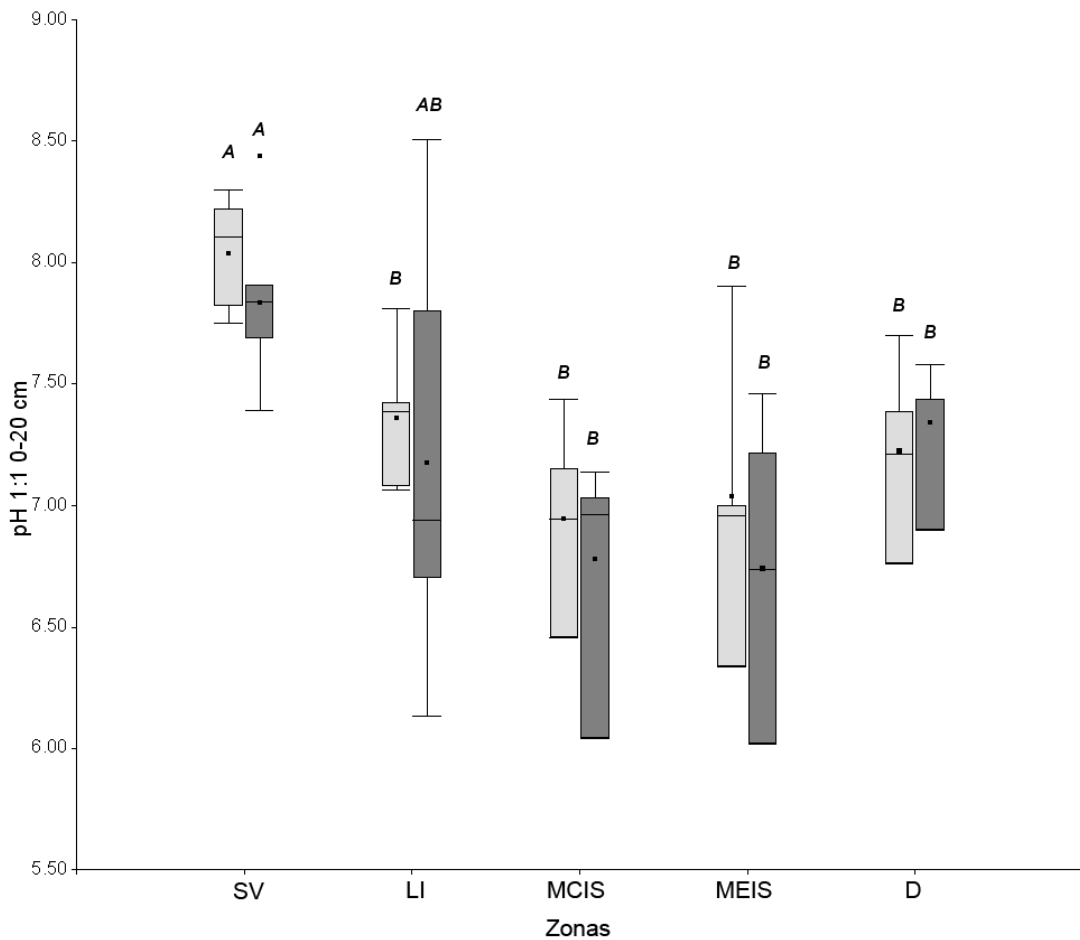


Fig. 3.3: Gráfico box plot para  $pH$  en relación suelo:agua 1:1, 0-20 cm de profundidad por zona (datos obtenidos a través de promedios ponderados). En gris claro, época húmeda ( $pH_h$ ); en gris oscuro, época seca ( $pH_s$ ). Test de ANAVA. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $n=26$ ; LSD Fisher;  $gl=25$ ;  $F=7,24-3,44$ ;  $p=0,0009-0,0261$  para  $pH_h$  y  $pH_s$  respectivamente) entre zonas dentro de cada estación. Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

La Figura 3.4 muestra un aumento en el espesor del horizonte superficial arenoso a medida que se incrementa la elevación desde el centro de la cuenca (SV) hasta el monte (MEIS). El horizonte superficial constituye una discontinuidad textural abrupta en comparación con la capa subyacente con mayor contenido de limo y/o arcilla. Para MEIS y D, la capa superior del suelo supera los 100 cm.

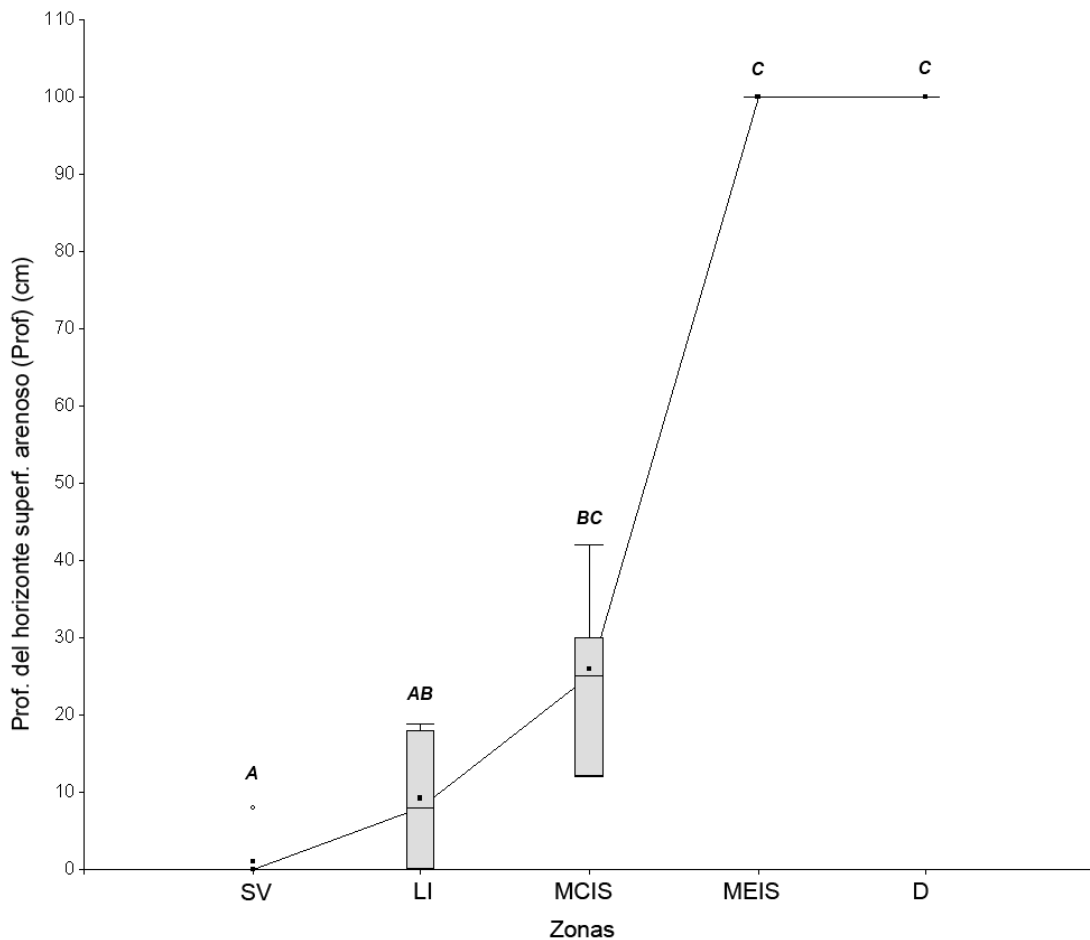


Fig. 3.4: Gráfico box plot para profundidad del horizonte superficial arenoso (*Prof*) en cm, por zona. Test de Kruskal-Wallis. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $n=26$ ; comparación de pares;  $gl=25$ ;  $H=22,8$ ;  $p=0,0002$ ) entre zonas. Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

La Figura 3.5, al igual que la figura anterior, muestra un aumento en el porcentaje de arenas a medida que se incrementa la elevación desde el centro de la cuenca (SV) hasta el monte (MEIS). Se observan diferencias significativas (LSD Fisher;  $gl=25$ ;  $F=11,0$ ;  $p=0,0001$ ) entre SV, D y el resto de las zonas al tomar los promedios ponderados para 0-20 cm de profundidad. Sin embargo, no se registraron diferencias significativas (LSD Fisher,  $gl=51$ ;  $F=0,39$ ;  $p=0,535$ ) entre horizontes superficiales y subsuperficiales en aquellos sitios donde, de acuerdo a la variable *Prof*, se apreciaron diferencias de textura a través de la textura al tacto, definiendo discontinuidades litológicas.

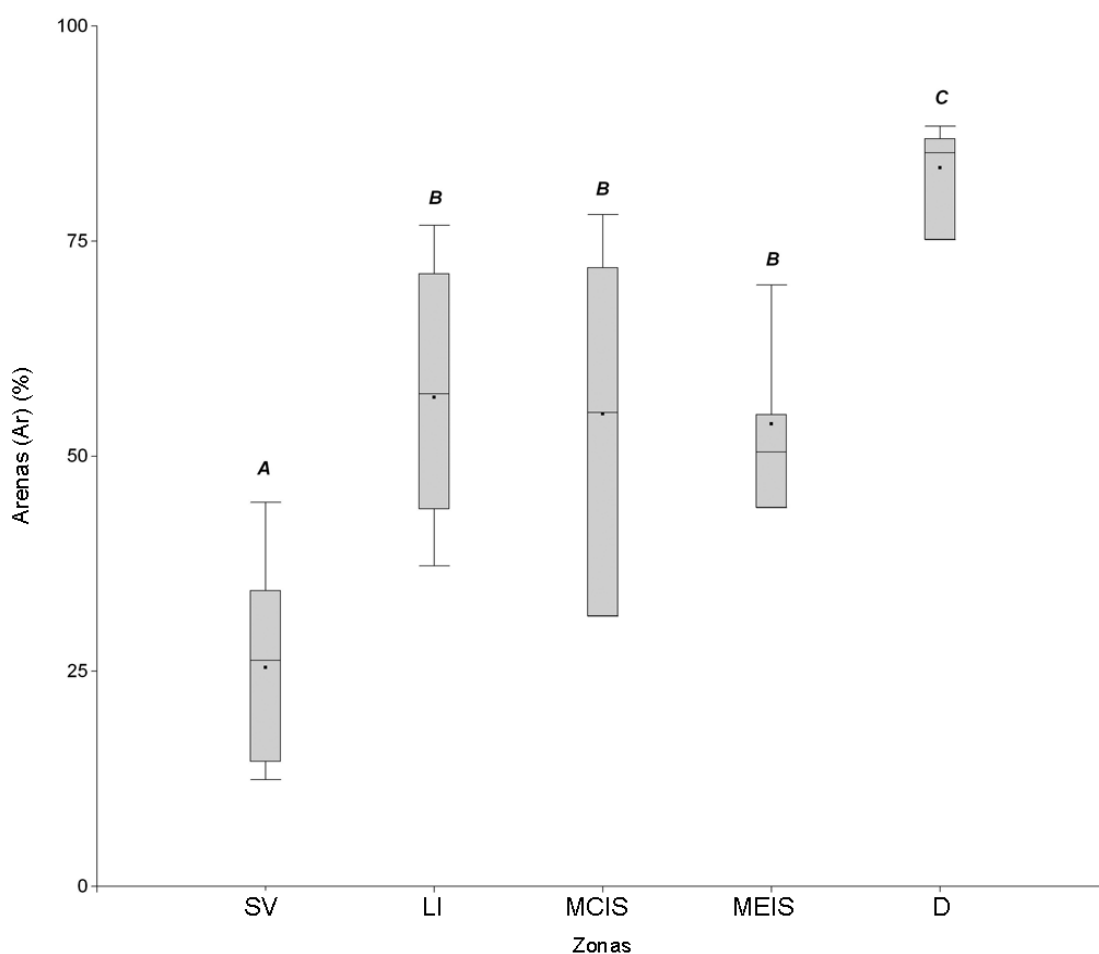


Fig. 3.5: Gráfico box plot para porcentaje de arenas (*Ar*), 0-20 cm de profundidad por zona (datos obtenidos a través de promedios ponderados). Test de ANAVA. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $n=26$ ; LSD Fisher;  $gl=25$ ;  $F=11,0$ ;  $p=0,0001$ ) entre zonas. Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

La Figura 3.6, muestra la variación en el porcentaje de carbonatos de la masa del suelo (promedio ponderado 0-20 cm) entre las zonas, evidenciándose mayores valores promedio y diferencias significativas (LSD Fisher;  $gl=25$ ;  $F=4,38$ ;  $p=0,0099$ ) sólo en SV respecto al resto de las zonas. Tampoco se registraron diferencias significativas (LSD Fisher;  $p<0,05$ ) entre horizontes superficiales y subsuperficiales de las zonas donde, de acuerdo a la variable *Prof*, se apreciaron características de discontinuidades litológicas a través de la textura al tacto, aunque si se aprecian tendencias en los datos indicando mayores valores en los horizontes subsuperficiales respecto a los superficiales.

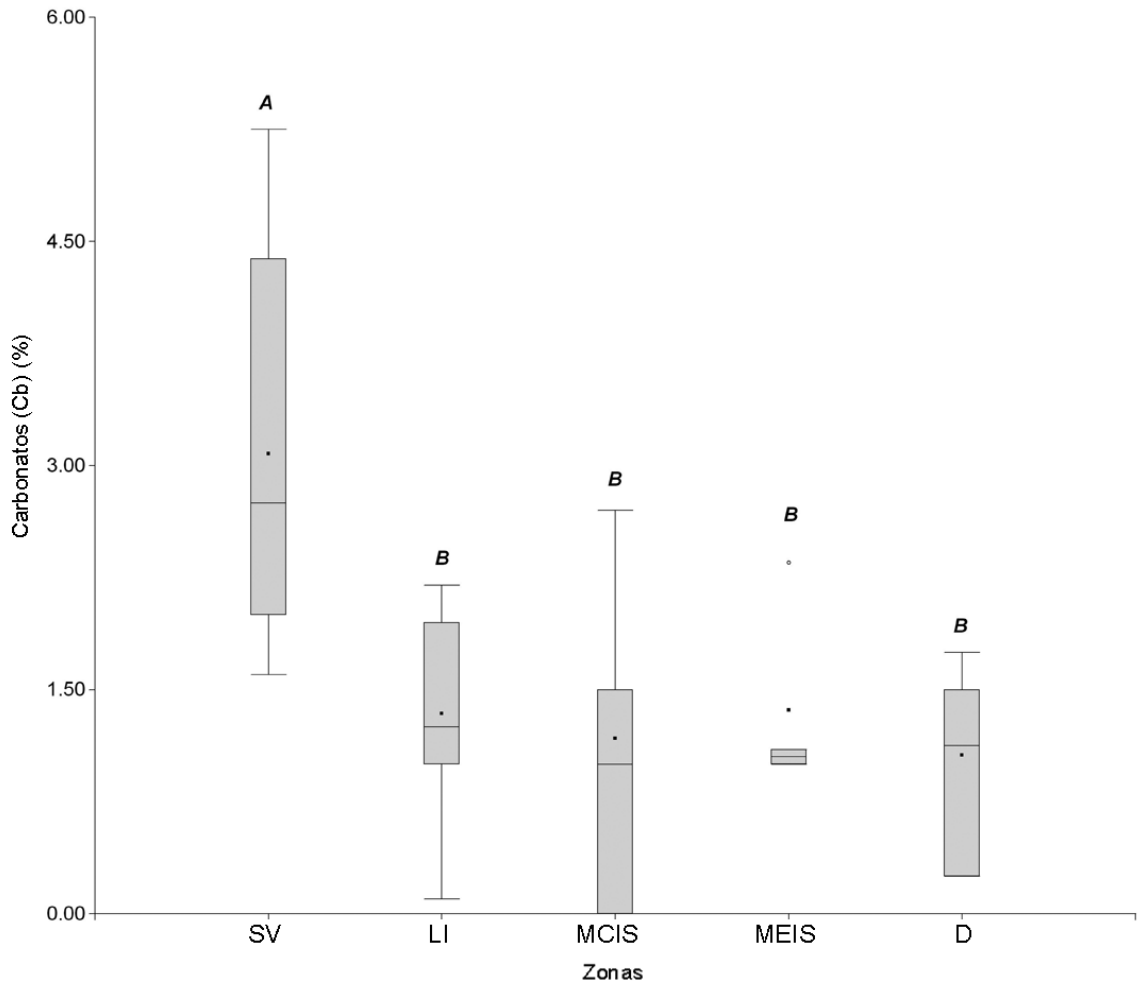


Fig. 3.6: Gráfico box plot para porcentaje de carbonatos (*Cb*), 0-20 cm de profundidad por zona (datos obtenidos a través de promedios ponderados). Test de ANAVA. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $n=26$ ; LSD Fisher,  $gl=25$ ;  $F=4,38$ ;  $p=0,0099$ ) entre zonas. Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

La densidad aparente (*Dap*, Figura 3.7), como promedio de las muestras superficiales y subsuperficiales, también permite apreciar tendencias decrecientes a medida que se avanza desde el centro de la cuenca a zonas más elevadas, aunque sólo existen diferencias significativas (LSD Fisher;  $gl=24$ ;  $F=2,52$ ;  $p=0,0754$ ) entre SV y MEIS.

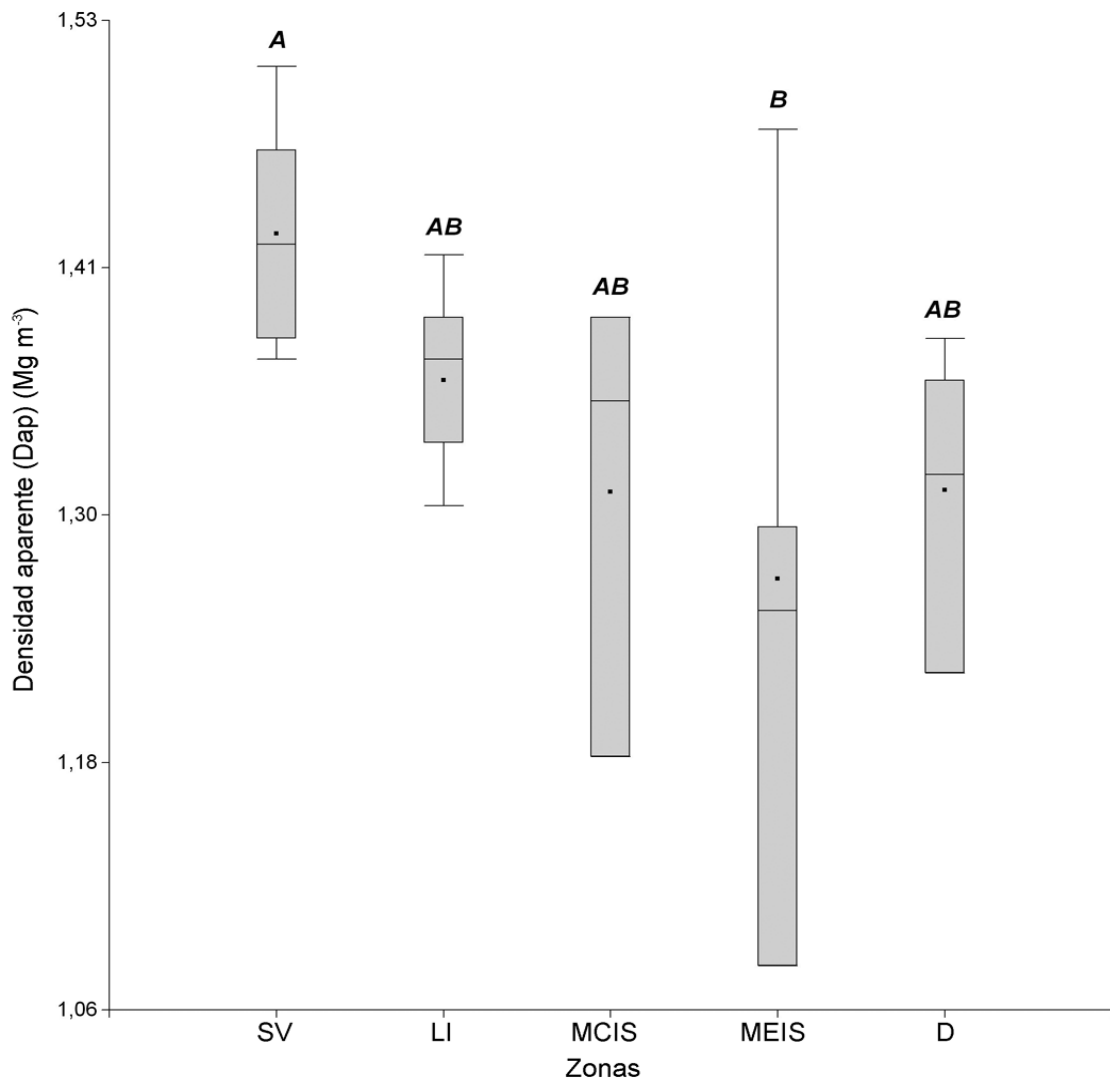


Fig. 3.7: Gráfico box plot para densidad aparente (*Dap*), promedio de datos superficiales (0-7 cm) y subsuperficiales (10-17 cm) por zona. Test de ANAVA. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $n=25$ ; LSD Fisher;  $gl=24$ ;  $F=2,52$ ;  $p=0,0754$ ) entre zonas. Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

## VEGETACIÓN

Las principales especies vegetales de Salinas Grandes se muestran en la Tabla 3.2 para cada zona, agrupados por comunidades: comunidades de *Heterostachys ritteriana* - *Allenrolfea patagonica* (SV); comunidades de *Maytenus vitis-idaea* - *Stetsonia coryne* - *Atriplex argentina* (LI), co-dominada por *Cyclolepis genistoides* y *Geoffroea decorticans*; comunidades de *Mimozyanthus carinatus* (MCIS), co-dominado por *Atriplex argentina*,

*Geoffroea decorticans* y *Stetsonia coryne*; comunidades de *Larrea divaricata* y *Mimozyanthus carinatus* (D y MEIS). Estas comunidades fueron definidas en base a la abundancia y dominancia de las especies.

La Figura 3.8 muestra la cobertura vegetal (*Cob*) para cada zona, observándose una clara diferencia entre SV y el resto de las zonas. Una cobertura menor corresponde a las zonas con mayor salinidad.

En cada una de la zonas la cobertura no varió estadísticamente ( $p < 0,05$ ) a lo largo del año debido a que dominan especies perennes, la mayoría de ellas de hoja caduca las cuales renuevan rápidamente sus hojas. Las variaciones más importantes sobre la cobertura fueron dadas por las especies herbáceas anuales, que presentan bajos valores de biomasa debido al efecto del pastoreo excesivo, evidenciado visualmente en todas las zonas (remanentes de la corona de las plantas). Por lo tanto, los valores de cobertura utilizados en los modelos son valores promedio para todo el año.

Sin embargo, la cobertura vegetal no individualiza las especies vegetales, por lo que fue necesario analizar la biodiversidad. Para ello se utilizó el Índice de Biodiversidad de Shannon-Weaver (*H*), calculado a partir de las frecuencias relativas de cada especie, las que se obtienen por el método de Braun-Blanquet (Wikum y Shanholtzer, 1978). La Figura 3.9 muestra un gradiente positivo de la biodiversidad, directamente relacionados con la posición topográfica de cada zona, desde el más bajo (SV) al más alto (D).



Tabla 3.2: Tabla fitosociológica sintética de las Salinas Grandes. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Duna. Las areas bordeadas indican las especies representativas de cada zona.

Zonas	SV (n=7)	LI (n=7)	MCIS (n=4)	D (n=4)	MEIS (n=4)
<b>Grandes Grupos y Sub-grupos de suelo (Soil Survey Staff, 2010)</b>	Aquisalids cálcicos y Haplosalids gípsicos	Haplosalids cálcicos y gípsicos	Haplosalids cálcicos	Torrripsaments ústicos y típicos	Ustortents y Torriortents
<b>Elevación (m.s.n.m)</b>	177-191 m	185-191 m	190-206 m	190-192 m	197-245 m
<b>Profundidad freática</b>	0.00-0.90 m	1.30–3.36 m	3.02–8.50 m	3.02–3.70 m	5.41–21.8 m
<b>Cobertura vegetal</b>	18% - 45%	81%	88%	83%	95%
<i>Heterostachys ritteriana</i> (Moq.) Ung.-Sternb.†	3	1			
<i>Allenrolfea patagonica</i> (Moq.) Kuntze†	3				
<i>Distichlis acerosa</i> (Griseb.) H.L. Bell & Columbus†	1	+			
<i>Lippia salsa</i> Griseb.	1	+	1	1	+
<i>Tephrocactus weberii</i> (Speg.) Backeb.	1		1		
<i>Alternanthera nodifera</i> (Moq.) Griseb.	1	1			
<i>Prosopis reptans</i> Benth.	1	1	1	1	
<i>Sporobolus pyramidatus</i> (Lam.) Hitchc.	1	1	1	1	
<i>Grahamia bracteata</i> Hook. & Arn.	1	1	1	1	+
<i>Plectrocarpa tetraantha</i> Gillies ex Hook. & Arn.†	+	1	1	+	
<i>Opuntia sulphurea</i> Gillies ex Salm-Dyck	+	1	1	1	1
<i>Trichloris crinita</i> (Lag.) Parodi		1	1	1	2
<i>Opuntia quimilo</i> K. Schum.		1	+		
<i>Suaeda divaricata</i> Moq.†			1		1
<i>Erhetia cortesia</i> Gottschling	+	1	1	+	
<i>Cyclolepis genistoides</i> D. Don†	+	2	1	+	+
<i>Atriplex argentina</i> Speg.†	+	4	3	+	+

† Especies indicadoras definidas por test ANAVA (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ), especies que muestran diferencias significativas en los valores de abundancia-cobertura entre zonas.

Tabla 3.2 (cont.): Tabla fitosociológica sintética de las Salinas Grandes. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Duna. Las areas bordeadas indican las especies representativas de cada zona.

Zonas	SV (n=7)	LI (n=7)	MCIS (n=4)	D (n=4)	MEIS (n=4)
<i>Maytenus vitis-idaea</i> Griseb. <sup>†</sup>	+	3	2	1	1
<i>Geoffroea decorticans</i> (Gillies ex Hook. & Arn.)		3	3	1	1
<i>Stetsonia coryne</i> (Salm-Dyck) Britton & Rose <sup>†</sup>		3	3	2	1
<i>Lycium spp.</i>			1	2	1
<i>Mimozyanthus carinatus</i> (Griseb.) Burkart <sup>†</sup>			3	3	2
<i>Gymnocalycium delaetii</i> (K. Schum.) Hosseus			1		+
<i>Bromelia urbaniana</i> (Mez) L.B. Sm.		+	1	1	+
<i>Larrea divaricata</i> Cav. <sup>†</sup>			+	3	2
<i>Aspidosperma quebracho blanco</i> Schldl. <sup>†</sup>			+	2	1
<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms <sup>†</sup>			+	+	2
<i>Larrea cuneifolia</i> Cav.				+	2
<i>Pappophorum subbulbosum</i> Arechav.		1		1	1
<i>Capparis atamisquea</i> Kuntze			+	1	1
<i>Prosopis torquata</i> (Cav. ex Lag.) DC			+	1	1
<i>Setaria leucopila</i> (Scribn. & Merr.) K. Schum.			+	+	1
<i>Senna aphyla</i> (Cav.) H.S. Irwin & Barneby			+	+	1
<i>Prosopis nigra</i> (Griseb.) Hieron. <sup>†</sup>				+	1
<i>Castela coccinea</i> Griseb.				+	1
<i>Cordobia argentea</i> (Griseb.) Nied.				+	1
<i>Cleistocactus baumanii</i> (Lem.) Lem.			+	1	+
<i>Ximena Americana</i> L.				1	+
<i>Tricomaria usillo</i> Hook. & Arn.			+	1	
<i>Harrisia pomanensis</i> (F.A.C. Weber ex K. Schum.) Britton & Rose			+	1	

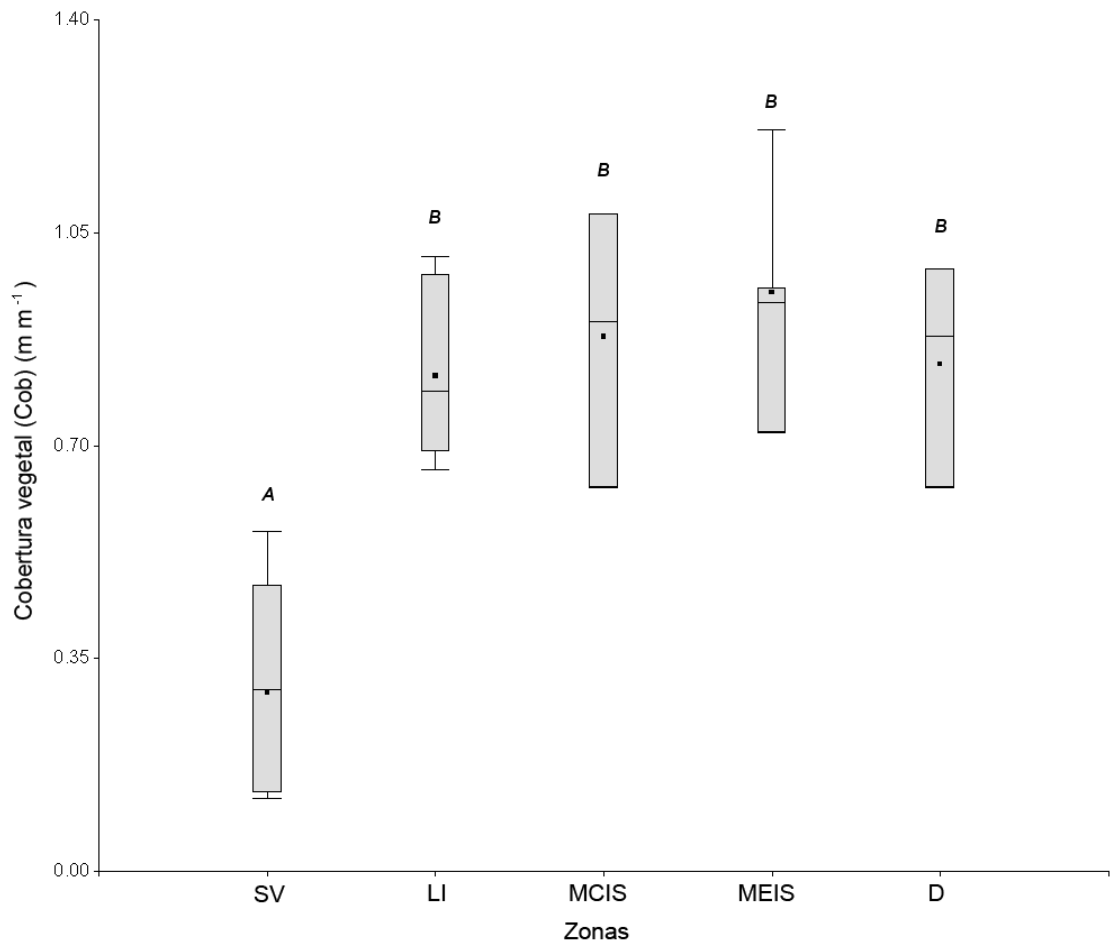


Fig. 3.8: Gráfico box plot para cobertura vegetal (*Cob*) en  $m\ m^{-1}$ , por zona. Test de ANAVA. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $n=25$ ; LSD Fisher,  $gl=24$ ;  $F=13,0$ ;  $p<0,0001$ ) entre zonas. Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

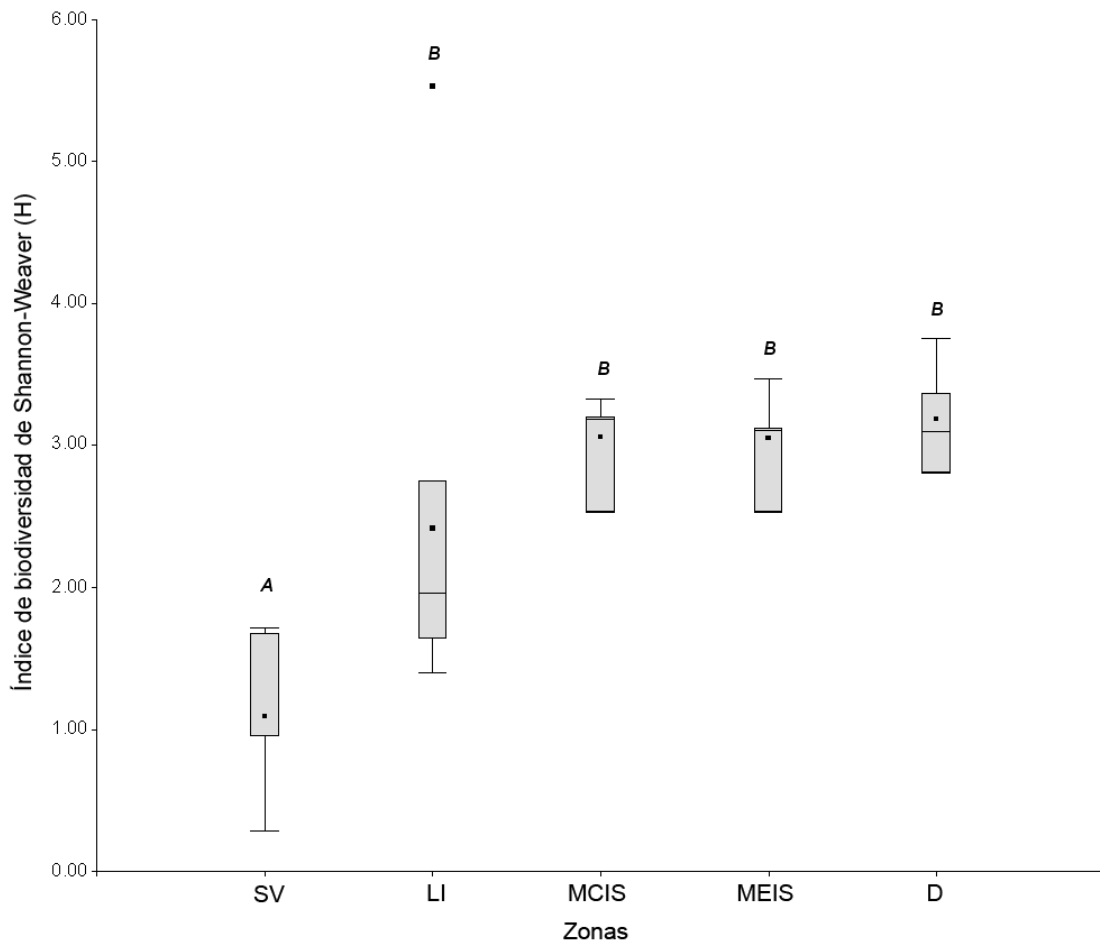


Fig. 3.9: Gráfico box plot para el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver ( $H$ ), por zona. Test de ANAVA. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $n=26$ ; LSD Fisher;  $gl=25$ ;  $F=6,15$ ;  $p=0,0019$ ) entre zonas. Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

De acuerdo con la Figura 3.10, LI, MCIS, MEIS presentan mayores valores de receptividad ganadera (3,90; 2,65; 2,37 ha  $EV^{-1}$  promedio, respectivamente; donde  $EV$  representa los equivalente vaca) en comparación con SV (41,8 ha  $EV^{-1}$  promedio). Las zonas D presenta valores de 4,80 ha  $EV^{-1}$ , indicando menor capacidad de carga que LI, MCIS y MEIS, probablemente debido al sobrepastoreo, aunque es mayor que SV. Las dunas se encuentran en la costa salina, lo que constituye parches de considerable oferta forrajera insertos en áreas donde la receptividad ganadera es baja.

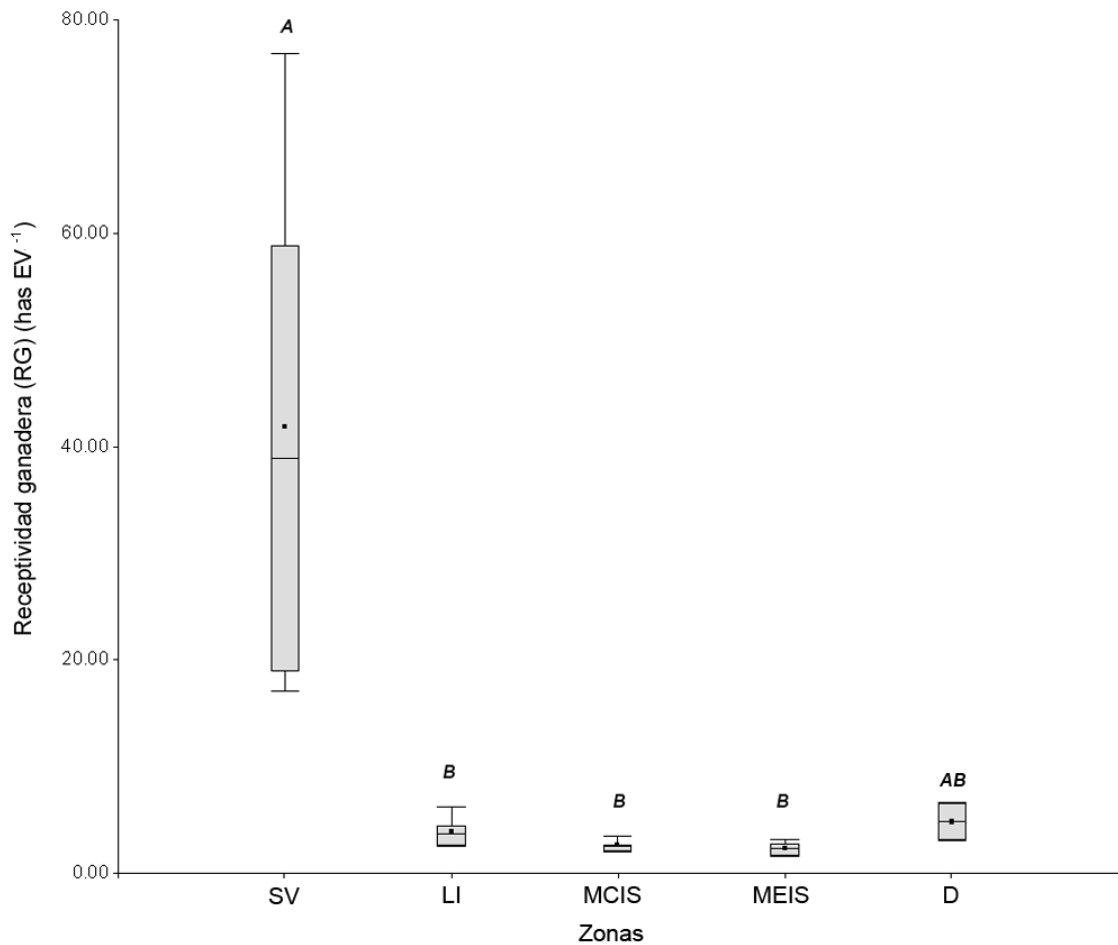


Fig. 3.10: Gráfico box plot para receptividad ganadera ( $RG$ ) en  $ha\ EV^{-1}$ , por zona. Test de Kruskal-Wallis. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $n=25$ ; comparación de pares;  $gl=24$ ;  $F=18,6$ ;  $p=0,001$ ) entre zonas. Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

En las zonas SV, al presentar bajos valores de cobertura vegetal debido a los altos niveles de salinidad, la receptividad ganadera se reduce a un valor medio de  $40\ ha\ EV^{-1}$ . Para este último valor, significa que para mantener un equivalente vaca, es necesario contar con áreas de pastoreo de  $40\ ha$  en promedio para cubrir sus requerimientos nutricionales anuales. Los datos disponibles de palatabilidad de las especies forrajeras corresponden a valores medios anuales, por lo tanto no fue posible determinar las diferencias entre las estaciones. Las especies más adecuadas para el ganado, de acuerdo con los valores nutricionales recopilados son *Geoffroea decorticans*, *Mimozyanthus carinatus*, *Prosopis aff. nigra*, *Capparis atamisquea* y *Cercidium praecox* (Martín *et al.*, 1993).

## RELACIONES ESTRUCTURALES SUELO-PLANTA

Las variables edáficas ( $CE_s$ ,  $CE_h$ ,  $pH_s$ ,  $pH_h$ ,  $Prof$ ,  $Ar$ ,  $Cb$ ,  $Dap$ ) permiten estimar los valores de cobertura vegetal que se muestran en la Figura 3.8. Fue posible la construcción de varios modelos para estimar la cobertura vegetal ( $n=26$ ,  $p < 0,05$ ):

- a)  $Cob = -5,9 * \exp(-4) * Prof - 0,02 * CE_h - 0,01 * CE_s + 0,04 * pH_h + 0,07 * pH_s - 0,01 * Ar + 0,02 * Cb + 0,54 * Dap$  ( $R^2 = 0,97$ ) (ec. 3.1)
- b)  $Cob = -9 * \exp(-4) * Prof - 0,01 * CE_h - 0,01 * CE_s + 0,18 * pH_h - 0,04 * pH_s$  ( $R^2 = 0,95$ ) (ec. 3.2)
- c)  $Cob = -0,01 * CE_h - 0,01 * CE_s + 0,17 * pH_h - 0,04 * pH_s$  ( $R^2 = 0,95$ ) (ec. 3.3)
- d)  $Cob = -0,01 * CE_h + 0,13 * pH_h$  ( $R^2 = 0,93$ ) (ec. 3.4)
- e)  $Cob = -0,01 * CE_s + 0,13 * pH_s$  ( $R^2 = 0,92$ ) (ec. 3.5)
- f)  $Cob = 1,04 * \exp(-0,0247 * CE_{pr})$  ( $R^2 = 0,81$ ) (ec. 3.6)
- g)  $Cob = 0,94 - 0,01 * CE_{pr}$  ( $R^2 = 0,70$ ) (ec. 3.7)
- h)  $Cob = 0,0212 Ar^{0,883}$  ( $R^2 = 0,53$ ) (ec. 3.8)

donde  $CE_{pr}$  es la conductividad eléctrica promedio entre las estaciones húmeda y seca.

Sin embargo, de acuerdo al análisis “stepwise” (Di Rienzo *et al.*, 2007) el mejor modelo fue

- i)  $Cob = 1,28 - 0,02 * CE_h - 0,005 * Ar$  ( $R^2 = 0,79$ ; Cp Mallows 45,5 y 6,35 para  $CE_h$  y  $Ar$  respectivamente) (ec. 3.9)

Con la biodiversidad es también posible construir varios modelos para explicar sus variaciones espaciales. La cobertura vegetal y la biodiversidad muestran una estrecha relación ( $R^2 = 0,62$ ), en consecuencia, fue posible establecer relaciones entre ellas ( $n = 26$ ,  $p < 0,05$ ):

- j)  $H = 0,01 * Prof - 0,02 * CE_h - 0,01 * CE_s + 0,60 * pH_h + 0,02 * pH_s - 0,02 * Ar - 0,46 * Cb + 0,13 * Dap$  ( $R^2 = 0,93$ ) (ec. 3.10)

- k)  $H = 3,3 * \exp(-3) * Prof - 0,03 * CE_h - 0,01 * CE_s + 0,68 * pH_h - 0,27 * pH_s$  ( $R^2 = 0,91$ ) (ec. 3.11)
- l)  $H = - 0,03 * CE_h - 0,01 * CE_s + 0,70 * pH_h - 0,25 * pH_s$  ( $R^2 = 0,91$ ) (ec. 3.12)
- m)  $H = - 0,04 * CE_h + 0,44 * pH_h$  ( $R^2 = 0,90$ ) (ec. 3.13)
- n)  $H = - 0,03 * CE_s + 0,41 * pH_s$  ( $R^2 = 0,86$ ) (ec. 3.14)
- o)  $H = 3,22 * \exp(-0,0213 * CE_{pr})$  ( $R^2 = 0,66$ ) (ec. 3.15)
- p)  $H = 3,10 - 0,03 * CE_{pr}$  ( $R^2 = 0,49$ ) (ec. 3.16)
- q)  $H = 0,096 * Ar^{0,801}$  ( $R^2 = 0,50$ ) (ec. 3.17)

De acuerdo al método “stepwise” el modelo más robusto es

- r)  $H = 3,14 - 0,04 * CE_h$  ( $R^2 = 0,50$ ; Cp Mallows de 21,4 para  $CE_h$ ) (ec. 3.18)

Como sucede con la cobertura vegetal, la biodiversidad tampoco varía estadísticamente ( $p < 0,05$ ) a lo largo del año debido a la dominancia de las especies perennes.

Por último, las relaciones entre la cobertura vegetal ( $Cob$ ) y la biodiversidad ( $H$ ) con la receptividad ganadera ( $RG$ ) (Figuras 3.11 y 3.12), definen funciones predictivas basadas en variables de medición rápida.

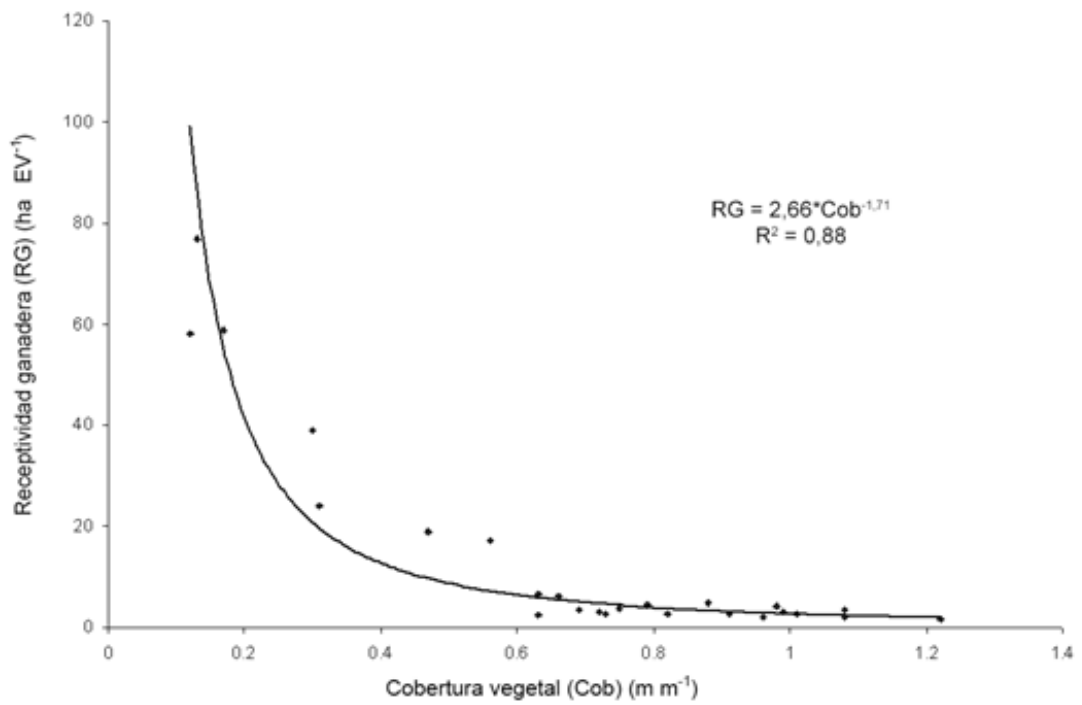


Fig. 3.11: Regresión no lineal entre receptividad ganadera (*RG*) y cobertura vegetal (*Cob*) (n=25). En el gráfico se representa la ec. 3.19.

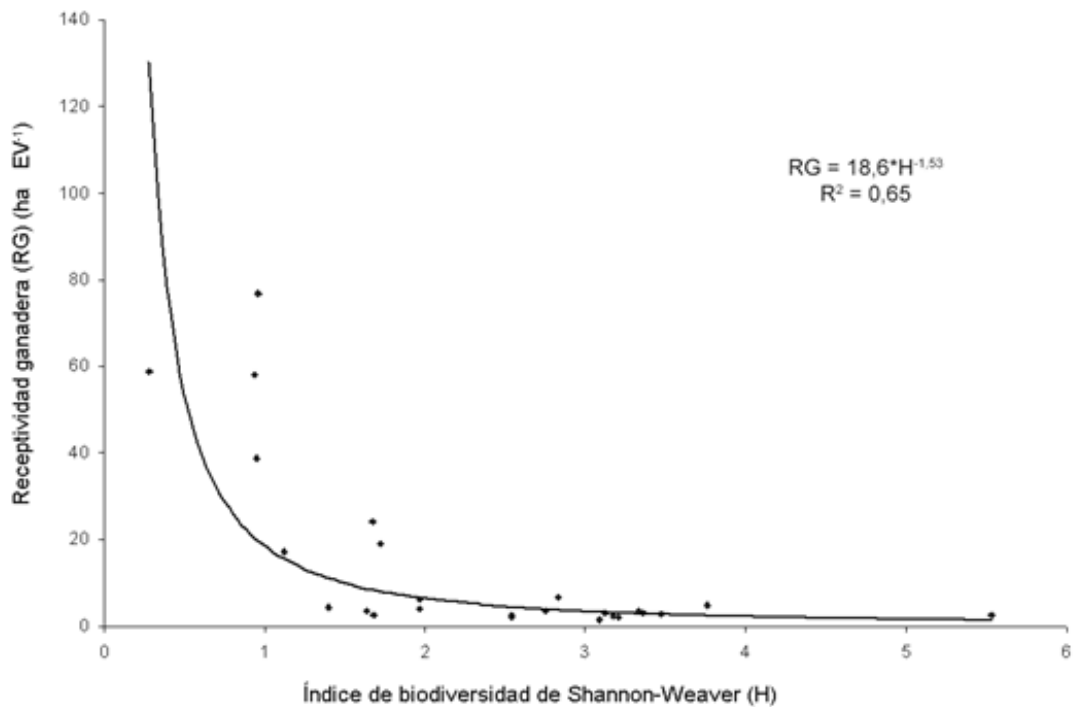


Fig. 3.12: Regresión no lineal entre receptividad ganadera (*RG*) y el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver (*H*) (n=25). En el gráfico se representa la ec. 3.20.



Se aprecia una estrecha relación entre la cobertura, la biodiversidad y la receptividad ganadera. Por lo tanto, como en el caso de la cobertura y la biodiversidad, se encontraron varios modelos explicados por las variables edáficas medidas (n=25, p<0,05):

- s)  $RG = 0,11 * Prof + 0,90 * CE_h + 0,24 * CE_s + 0,44 * pH_h - 7,24 * pH_s + 0,27 * Ar + 5,67 * Cb + 9,58 * Dap$  ( $R^2 = 0,98$ ) (ec. 3.21)
- t)  $RG = 0,13 * Prof + 0,35 * CE_h + 0,62 * CE_s - 4,25 * pH_h + 2,72 * pH_s$  ( $R^2 = 0,94$ ) (ec. 3.22)
- u)  $RG = 0,23 * CE_h + 0,56 * CE_s - 2,98 * pH_h + 2,66 * pH_s$  ( $R^2 = 0,92$ ) (ec. 3.23)
- v)  $RG = 0,76 * CE_h - 0,13 * pH_h$  ( $R^2 = 0,79$ ) (ec. 3.24)
- w)  $RG = 0,70 * CE_s - 0,19 * pH_s$  ( $R^2 = 0,90$ ) (ec. 3.25)
- x)  $RG = 2,23 * \exp(0,0471 * CE_{pr})$  ( $R^2 = 0,89$ ) (ec. 3.26)
- y)  $RG = - 3,28 + 0,81 * CE_{pr}$  ( $R^2 = 0,86$ ) (ec. 3.27)
- z)  $RG = -31,4 * \ln Ar + 133,4$  ( $R^2 = 0,65$ ) (ec. 3.28)

El mejor modelo para predecir la Receptividad Ganadera de acuerdo al método “stepwise” es

- aa)  $RG = - 13,3 + 0,78 * CE_h + 0,32 * CE_s + 0,15 * Prof$  ( $R^2 = 0,94$ ; Cp Mallows de 24,6, 10,2 y 15,0 para  $CE_h$ ,  $CE_s$  y  $Prof$  respectivamente) (ec. 3.29).

## RELACIONES FENOLÓGICAS SUELO-PLANTA-CLIMA

En la Figura 3.13 se observa que la floración y fructificación en general, tomando como promedio el conjunto de especies observadas en cada zona, es más tardía al aumentar la concentración salina de los suelos (ver Figura 3.2), suponiendo que la cantidad de precipitaciones está en íntima relación con el contenido hídrico del suelo, y por lo tanto, del agua útil disponible del suelo. La floración y fructificación más atrasada corresponde a las especies que habitan las zonas SV y LI, no observándose diferencias significativas entre estas dos zonas, pero sí con respecto al resto de las zonas (LSD Fisher, p<0,05).

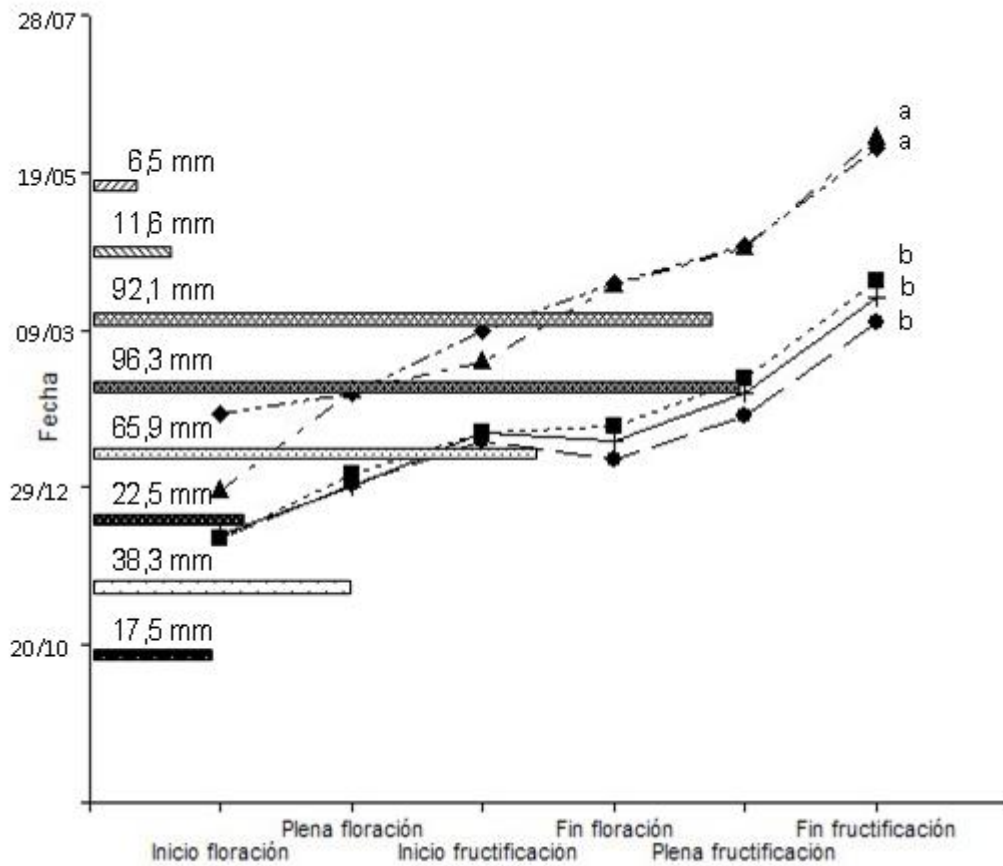


Fig. 3.13: Fenología por zona y precipitaciones (barras horizontales) de la temporada 2007-2009 de la región. Letras diferentes muestran diferencias significativas, LSD Fisher,  $p < 0,05$ . Rombos: SV; triángulos: LI; cruces: MCIS; cuadrados: B; círculos: MEIS.

Tabla 3.3: Diferencias significativas entre zonas por fenofase y estadísticos (ANAVA, LSD Fisher,  $p < 0,05$ ).

Ambiente	Inicio floración	Plena floración	Fin floración	Inicio fructificación	Plena fructificación	Fin fructificación
Estadísticos	n=825; gl=820; F=10,9; CV=80,9	n=749; gl=744; F=10,1; CV=65,0	n=557; gl=552; F=31,6; CV=50,6	n=850; gl=845; F=14,1; CV=50,9	n=557; gl=552; F=34,2; CV=41,1	n=556; gl=551; F=34,9; CV=34,0
<b>SV</b>	a	a	a	a	a	a
<b>LI</b>	b	a	a	a	a	a
<b>B</b>	c	b	b	b	b	b
<b>MCIS</b>	c	b	b	b	bc	bc
<b>MEIS</b>	c	b	b	b	c	c

Para explorar la influencia de la salinidad sobre las familias más representativas, en la Figura 3.14 se grafican las fechas de ocurrencia de las fenofases de las familias estudiadas que poseen especies de mayor abundancia.

Las familias estudiadas difieren entre sí en sus patrones fenológicos, siendo las Asteráceas las especies que primero florecen, y por último las Quenopodiáceas.

Las Quenopodiáceas se diferencian netamente del resto de las familias. Las especies consideradas dentro de esta familia corresponden a especies halófitas en su totalidad (*Heterostachys ritteriana*, *Allenrolfea patagonica*, *Suaeda divaricata*, *Atriplex argentina*) (Tabla ANEXO 4).

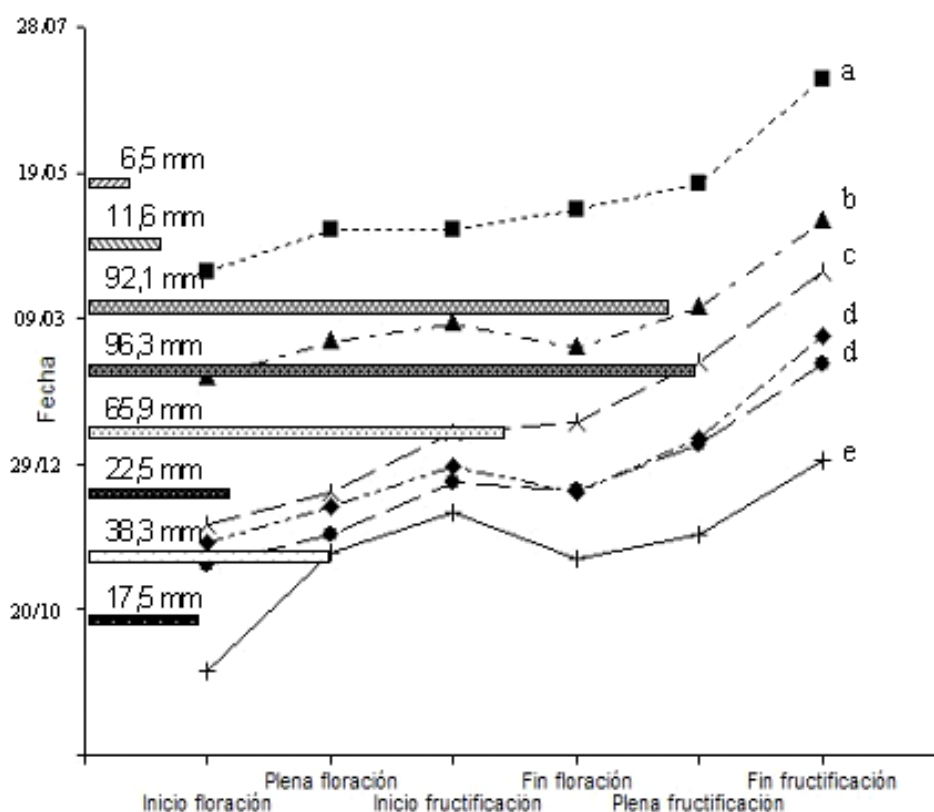


Fig. 3.14: Fenología por familia y precipitaciones (barras horizontales) de la temporada 2007-2009 en la región. Letras diferentes muestran diferencias significativas, LSD Fisher,  $p < 0,05$ . Cuadrados: Chenopodiaceae; triángulos: Poaceae; estrella: Cactaceae; rombo: Zygomphylaceae; círculo: Fabaceae; cruz: Asteraceae.

Tabla 3.4: Diferencias significativas entre familia por fenofase y estadísticos (ANAVA, LSD Fisher,  $p < 0,05$ ).

Ambiente	Inicio floración	Plena floración	Fin floración	Inicio fructificación	Plena fructificación	Fin fructificación
Estadísticos	n=536; gl=530; F=81,3; CV=66,2	n=462; gl=456; F=70,8; CV=53,0	n=368; gl=362; F=71,6; CV=42,0	n=562; gl=556; F=75,4; CV=42,5	n=368; gl=362; F=64,5; CV=35,5	n=368; gl=362; F=67,5; CV=28,9
Asteraceae	a	a	a	a	a	a
Fabaceae	b	a	a	a	b	b
Zygomphylaceae	bc	a	a	a	b	b
Cactaceae	c	a	b	b	c	c
Poaceae	d	b	c	c	d	d
Chenopodiaceae	e	c	d	d	e	e

## RELACIONES DINÁMICAS SUELO-PLANTA

Para la zona de estudio, en el caso de la Figura 3.15, se observan los valores de  $L$  (ec. 2.5) de cada sitio visitado, relacionados a la conductividad eléctrica medida. Los valores de  $L$  relacionan la cobertura vegetal actual de cada población con su situación estable teórica (véase ANEXO 6), es decir, cada  $N_i$  corresponde a la cobertura vegetal en la situación real y  $N_i^*$  constituye el valor máximo de cobertura vegetal de dicha población, suponiendo que esta es su situación más estable. Este valor de  $N_i^*$  constituye un atractor para cada población. La variable  $n$  es el número de poblaciones de cada zona identificada.

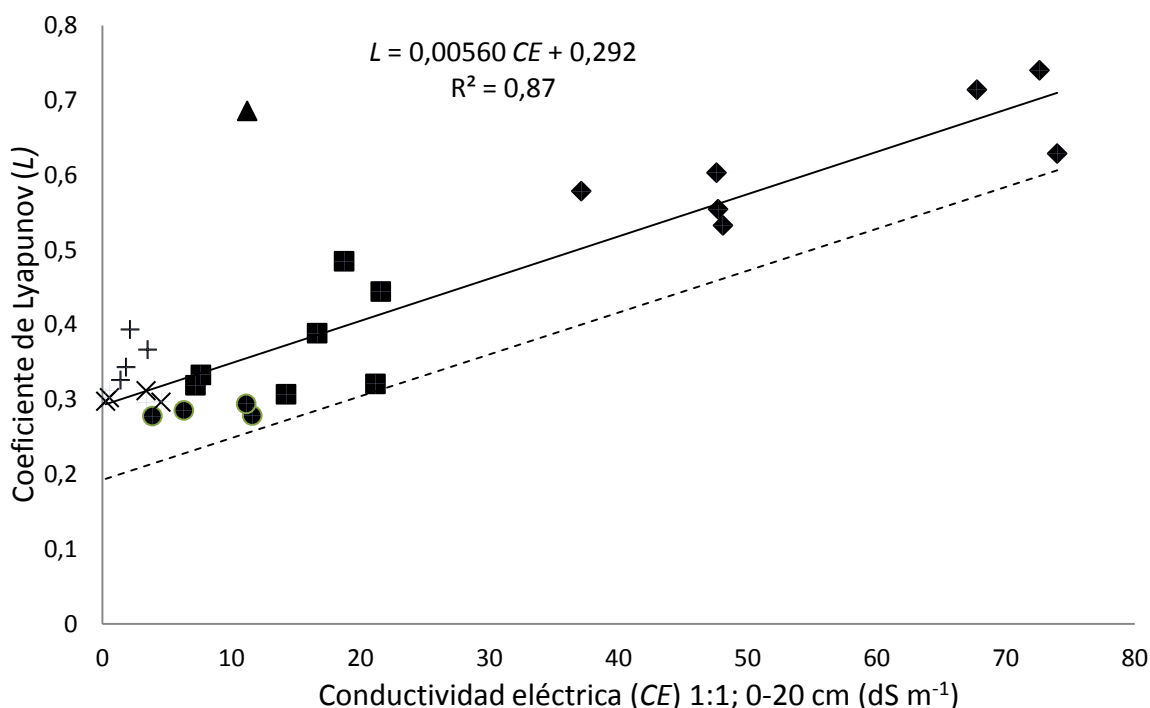


Fig. 3.15: Relación lineal entre los coeficientes de Lyapunov ( $L$ ) y la conductividad eléctrica ( $CE$ ). ◆: SV; ■: LI; ●: MCIS; +: D; x: MEIS; ▲: Bosque quemado. Línea punteada: situación de referencia. En el gráfico se muestra la ec. 3.30, correspondiente a la línea negra continua.

Observando la Figura 3.15, se pueden hacer dos tipos de análisis. Por un lado, el parámetro  $L$  se puede evaluar como la distancia de cada zona respecto a su estado de equilibrio hipotético (véase ANEXO 6), el cual posiblemente se puede alcanzar si ciertas condiciones ecológicas se cumplieran (Odum, 1972). Si suponemos una situación en la que una zona determinada no tiene vegetación natural, lo que constituye un equilibrio

termodinámico, con máxima entropía y mínima exergía (véase ANEXO 6). Suponemos que los sub-ambientes (zonas) evaluados cambian su estructura hacia una situación teórica más estable (Odum, 1972) con mayor acumulación de exergía (hacia un atractor), por ejemplo hacia zonas como MEIS o D, ambos con una mayor acumulación de biomasa respecto al resto de las zonas. En este caso, una sucesión (teórica) primaria se evalúa en el espacio, teniendo en cuenta dicho atractor como una especie de equilibrio climático (véase ANEXO 6).

Por otro lado, es posible estimar en qué medida cada sitio se aleja de la situación más estable correspondiente a cada valor de la conductividad eléctrica del suelo, es decir, es posible evaluar la degradación antrópica de cada sitio. Este análisis puede hacerse a través de una regresión lineal, lo que indica el valor medio de las situaciones analizadas. El punto más alejado de la función lineal (007; LI), con el menor valor de  $L$  (mayor exergía) relacionado con la conductividad eléctrica del suelo, se considera como el sitio menos perturbado. Por lo tanto, es posible mover la ordenada al origen de la función lineal de forma tal que dicha función pase por este punto (Figura 3.15, línea punteada). Este constituye un caso de referencia. La distancia de cada situación con respecto a la línea de base es una medida de las perturbaciones relacionadas a cada valor de la conductividad eléctrica, permitiendo una evaluación de sucesiones secundarias, llegando a una situación ( $N_i^*$ ) de equilibrio edáfico (véase el ANEXO 6), o por lo menos a una situación más cercana a dicho equilibrio. La pendiente de la función lineal indica la "velocidad" de la sucesión primaria ( $L/CE$ ). Estudios similares sobre sucesiones primarias de comunidades vegetales relacionados a gradientes edáficos en áreas salinas fueron publicados por Baoshan *et al.* (2008), Shaltout y Al-Sodany (2008) y Olf *et al.* (1993), aunque en estos casos se consideraron la frecuencia relativa, abundancia y riqueza de las especies, y no Coeficientes de Lyapunov. No se encontraron estudios similares relacionados a datos empíricos utilizando los Coeficientes de Lyapunov a nivel de ecosistemas terrestres.

Se ha añadido al análisis un caso contrastante de un bosque quemado, que originalmente correspondía a una zona MEIS. Este caso muestra dos cambios sustanciales. Por un lado, teniendo en cuenta los valores medios de la conductividad eléctrica de la zona

original, el valor se incrementó de  $2,18 \text{ dS m}^{-1}$  a  $11,2 \text{ dS m}^{-1}$ , lo que puede ser visto como un retroceso en la sucesión primaria.

Por otra parte, su valor de  $L$  es el más alejado de la línea de base, lo que indica que se requiere una gran inversión de exergía con el fin de volver a su situación original. Si tomamos los dos extremos (bosque quemado y el sitio menos disturbado), ambos presentan los mayores valores de biodiversidad, medidos a través del índice de Shannon-Weaver (3,96 y 5,53 respectivamente) (Figura 3.16) lo que indica que un alto valor de biodiversidad no se traduce necesariamente en un ambiente estable (Tilman, 1996; Shafi y Yarranton, 1973).

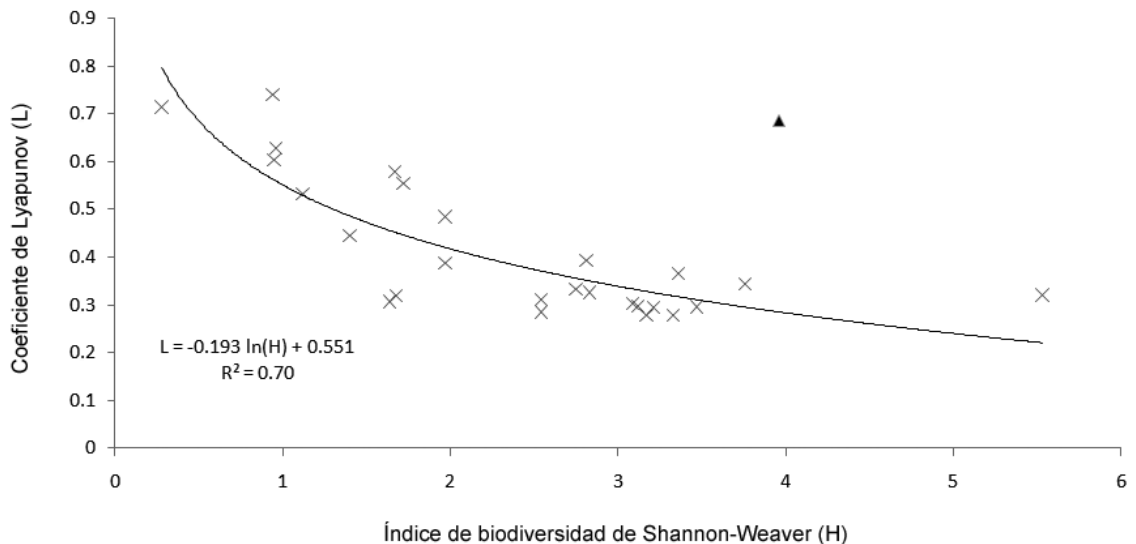


Fig. 3.16: Regresión no lineal entre los coeficientes de Lyapunov ( $L$ ) y los índices de Shannon-Weaver ( $H$ ). Triángulo negro: bosque quemado (excluido del ajuste de la curva). En el gráfico se muestra la ec. 3.31.

En la Figura 3.15, el valor de  $R^2$  indica cuán degradado se encuentra el sistema en su totalidad. Un valor cercano a 0,99, y más cercano de la línea de base, demostraría que el ecosistema está intacto. Los sitios más alejados de la línea de base indicarían una zona más perturbada.

Si se hace una regresión entre el coeficiente de Lyapunov ( $L$ ) y el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver ( $H$ ) (Figura 3.16) sin considerar el caso del bosque quemado, se puede observar una clara tendencia en la disminución de los valores de  $L$  y un aumento de  $H$  sobre los ambientes que presentan bajo nivel de perturbación, obteniendo un  $R^2=0,70$ . Sin embargo, cuando se considera el caso del bosque quemado,  $R^2$  se reduce a 0,35.

Está claro que la diversidad de comunidades vegetales se asocia estrechamente a la cantidad de sales solubles presentes en el suelo (Figura 3.17) y de la deposición de arena en la capa superior del suelo (Figura 3.18) (Ruiz Posse *et al.*, 2007). Es de destacar la relación entre la conductividad eléctrica y la acumulación de arena (Figura 3.19). La conductividad eléctrica disminuye con el aumento del espesor del horizonte superficial de arena. Debe aclararse que es probable que la diversidad dependa de otras variables no edáficas que no han sido consideradas en este trabajo, tales como competencia intra e interespecífica, dispersión, etc., especialmente en zonas de alta cobertura (mayor al 80%).

En la Figura 3.17, el punto más alejado de la curva (007;  $H=5,53$ ) es el punto que sirvió de referencia para la construcción de la línea punteada en la Figura 3.15.

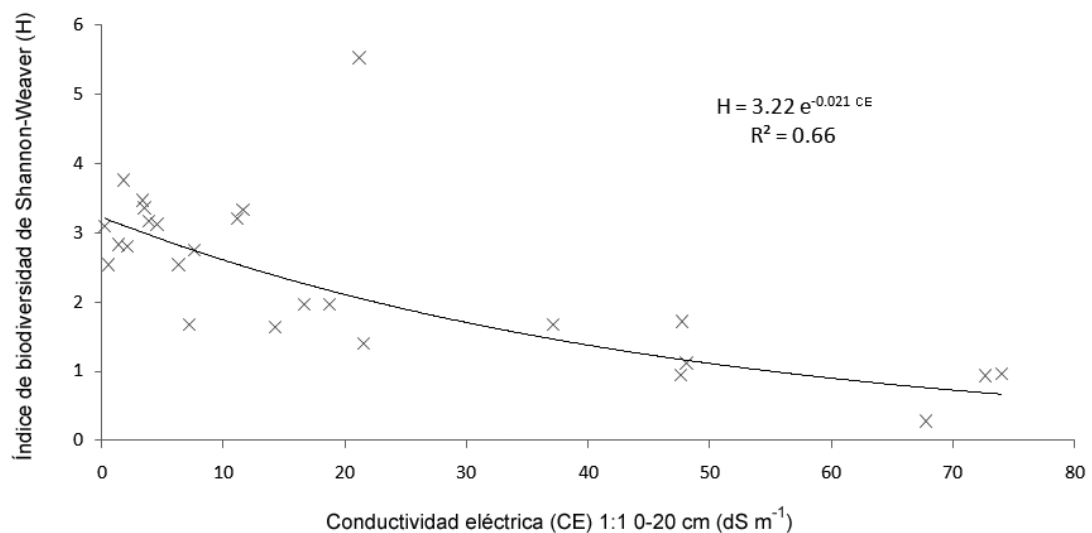


Fig. 3.17: Regresión no lineal entre el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver ( $H$ ) y la conductividad eléctrica ( $CE$ ). En el gráfico se muestra la ec. 3.15.



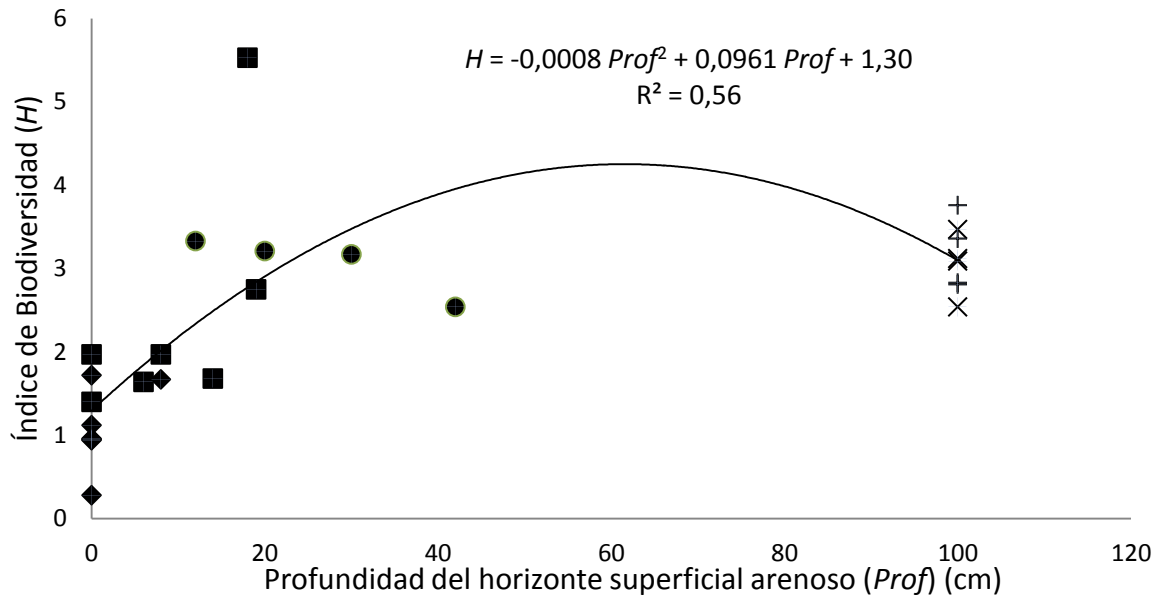


Fig. 3.18: Regresión no lineal entre el índice de biodiversidad de Shannon-Weaver ( $H$ ) y el espesor del horizonte superficial arenoso ( $Prof$ ). ♦: SV; ■: LI; ●: MCIS; +: D; x: MEIS. En el gráfico se muestra la ec. 3.32.

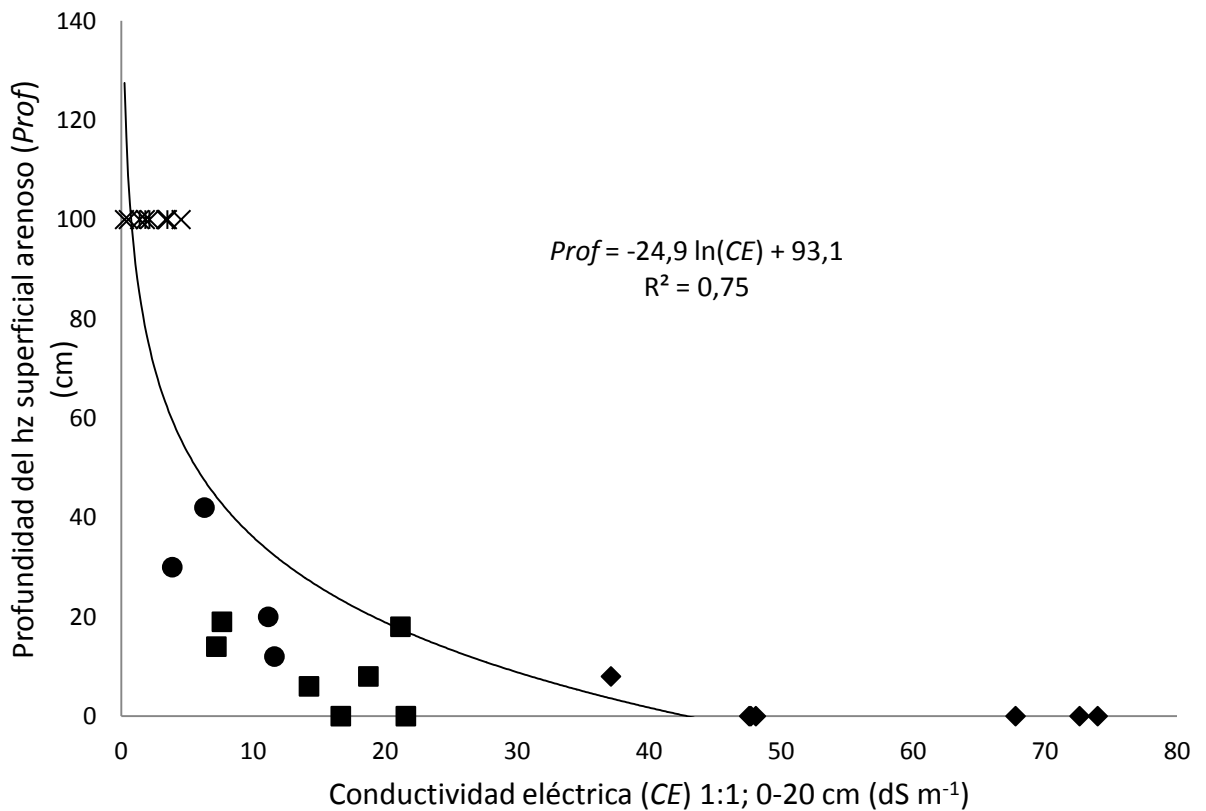


Fig. 3.19: Regresión no lineal entre el espesor del horizonte superficial arenoso ( $Prof$ ) y la conductividad eléctrica ( $CE$ ). ♦: SV; ■: LI; ●: MCIS; +: D; x: MEIS. En el gráfico se muestra la ec. 3.33.

### DISCUSIÓN

#### RELACIONES ESTRUCTURALES SUELO-PLANTA

Se denomina “Relación Estructural” a la relación existente entre las condiciones de suelo y la fisiografía de cada zona considerada.

En base a las variables edáficas consideradas, es posible ver diferentes gradientes, ya sea crecientes (desde las salinas hasta las planicies aluviales), como en el caso de profundidad del horizonte superficial arenoso y porcentaje de arenas, o decrecientes como en el caso de conductividad eléctrica, *pH*, carbonatos y densidad aparente. Estos gradientes influyen la cobertura vegetal, la biodiversidad y la receptividad ganadera.

SV y LI tienden a presentar mayor contenido salino en la estación seca (Figura 3.2) (aunque sin diferencias significativas respecto a la temporada húmeda), debido a la escasa o nula lixiviación de las sales y al ascenso capilar (Richards, 1954), favorecido por las altas tasas de evaporación.

No se encontraron diferencias significativas en la conductividad eléctrica (Figura 3.2) entre MCIS, MEIS y D, debido a la presencia de una capa superficial arenosa más profunda (Figura 3.4), rompiendo la capilaridad del suelo y facilitando el lavado de sales más solubles que el yeso. A pesar de la ausencia de diferencias significativas, LI muestra un mayor contenido salino de 0 a 20 cm de profundidad que MCIS y MEIS, debido a la presencia de una capa superficial arenosa menos profunda (Figura 3.4).

La moderada alcalinidad en SV (Figura 3.3) es causada por la presencia de carbonatos alcalino-térreos (Richards, 1954). Los carbonatos alcalino-térreos dominarían sobre los carbonatos de sodio debido a que grandes proporciones de carbonatos de sodio elevan el *pH* por encima de 8,5 (Richards, 1954), como ocurre con los suelos salinos sódicos en la Depresión del Salado en Argentina (Vázquez *et al.*, 2001). El incremento de los valores promedio de *pH* durante la temporada húmeda está relacionada, al menos en

SV y LI, a un mayor efecto de hidrólisis de los minerales de arcilla (Reitemeier, 1946) y la bajas tasas de actividad biológica. Los valores de *pH* más bajos, corresponden a los ambientes de zonas altas, donde se favorece la mayor lixiviación de sales solubles y supuestamente se producen mayores tasas de actividad biológica por mayor contenido de materia orgánica. La respiración de la microbiota y las raíces liberan importantes cantidades de dióxido de carbono, formando ácido carbónico (Mengel y Kirkby, 1987), y reducirían los valores de *pH*.

La acumulación de arenas (Figura 3.4) se produce en las zonas de SV sólo alrededor de los parches de *Heterostachys ritteriana* y *Allenrolfea patagonica*, construyendo barreras que frenan las arenas arrastradas por el viento y el agua. Esta acumulación y la consiguiente macroporosidad dominante interrumpirían el ascenso capilar de agua, disminuyendo la tasa de evaporación y manteniendo el perfil con mayor contenido de agua sub-superficial. El agua se moviliza a través de la arena en forma de vapor durante el día, seguida de la condensación nocturna, lo que genera un ambiente más húmedo, con menos concentración de sal, debido a un proceso de destilación natural (Ruiz Posse *et al.*, 2007). Este proceso permite el crecimiento de especies con menor tolerancia a la salinidad, aumentando la cobertura vegetal (Figura 3.8), la biodiversidad (Figura 3.9) y la receptividad ganadera (Figura 3.10).

Como dijimos en el Capítulo 3, no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de arenas entre los horizontes superficiales y sub-superficiales. Es posible suponer que las diferencias texturales en las discontinuidades posiblemente se deban a los efectos de la acumulación de una fracción limo grueso (de acarreo eólico) que no se tuvo en cuenta en la cuantificación de partículas del suelo. Sin embargo es posible ver una tendencia clara en SV, LI, MCIS y MEIS en presentar mayores valores de porcentaje de arenas en los horizontes superficiales respecto a los sub-superficiales, mientras que las dunas prácticamente no varían sus contenidos entre horizontes (Figura 4.1). Tanto para SV, LI y MCIS es posible apreciar en algunos sitios evidencias claras de discontinuidades litológicas definidas por la textura al tacto (Figura 3.4), con diferencias en tamaño de partículas. En estas tres zonas, la textura al tacto manifiesta la presencia a nivel superficial de arenas finas, lo que indicaría procesos de deposición de éstas por efecto eólico como

consecuencia de la deflación de la cuenca. Las dunas también presentan este tipo de arenas depositadas, formando estratos de mayor potencia, superior a la profundidad de excavación de las calicatas. En el caso de MEIS se apreció la presencia de arenas medias y gruesas, depositadas por efecto aluvial debido a la influencia de las Sierras de Ancasti, fenómeno descrito por Miró *et al.* (2005).

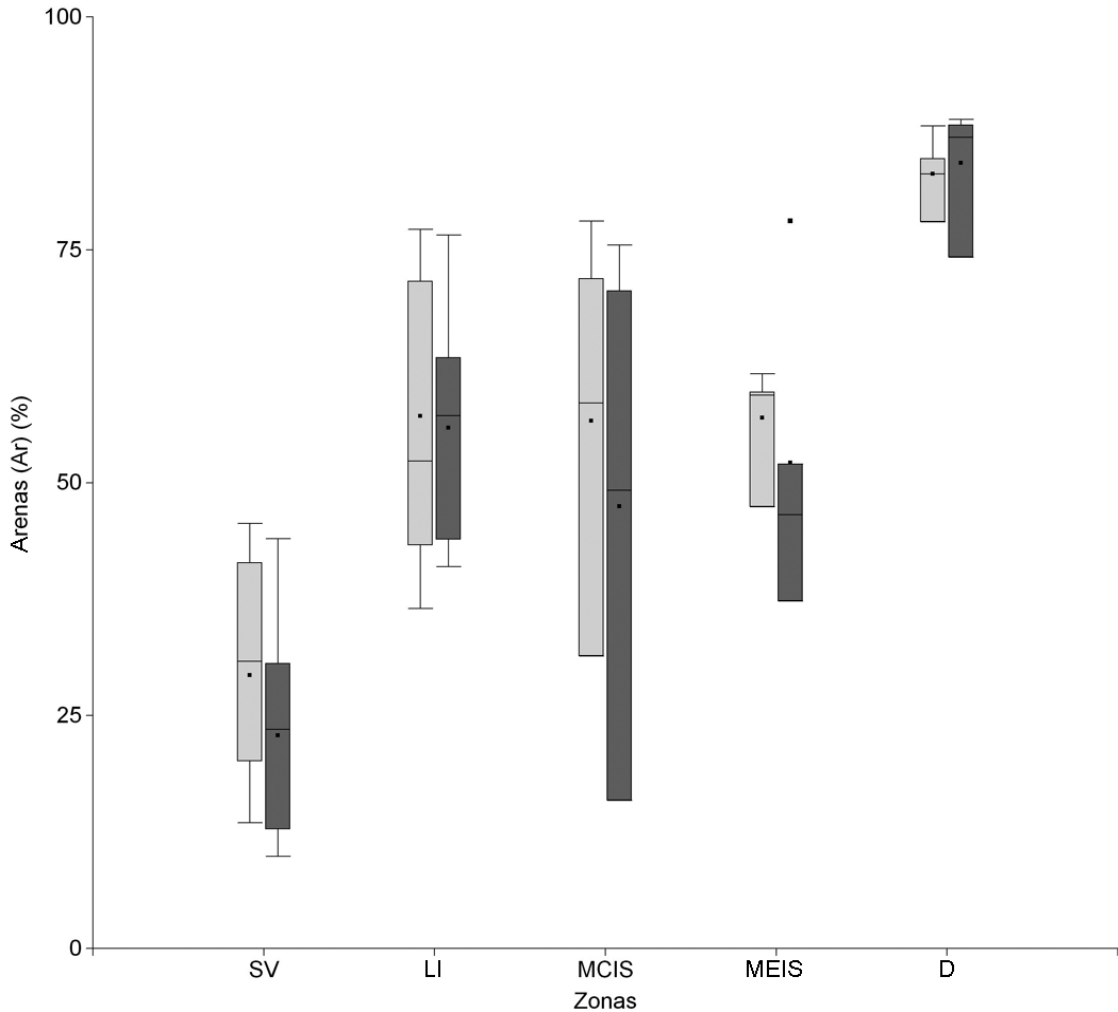


Fig. 4.1: Gráfico box plot para porcentaje de arenas (*Ar*), para horizonte superficial (gris claro) y sub-superficial (gris oscuro) por zona ( $n=26$ ). No se observaron diferencias significativas entre horizontes. Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

Respecto a esta variable, las diferencias en el contenido de arenas entre zonas son evidentes, aumentando las mismas desde las áreas bajas a las altas, relacionado con la

cobertura vegetal (*Cob*; ec. 3.8) y biodiversidad (*H*; ec. 3.17) con  $R^2$  de 0,53 y 0,50 respectivamente, y con la receptividad ganadera (*RG*; ec. 3.28) con un  $R^2$  de 0,65, lo que indica que el contenido de arenas es importante en los procesos de ruptura capilar sobre el ascenso de napas con contenido de sales solubles. Al respecto, la relación entre el contenido promedio de arenas y la salinidad (*CE* promedio) definida a través de una función cuadrática ( $CE_{pr} = 0,0207 Ar^2 - 2,95 Ar + 107,74$ ; ec. 4.1) muestra un  $R^2$  de 0,81.

Se mencionó que debido a los valores de *pH* encontrados, es posible que los carbonatos presentes sean alcalinotérreos, es decir que son de baja solubilidad. Los carbonatos alcalino-térreos son indicadores del ascenso y descenso de la freática y están en relación a la porosidad del suelo. Evidentemente, la macroporosidad permite el drenado del agua por gravedad, mientras que la meso y microporosidad permitirían el movimiento capilar del agua hacia arriba. Una alta proporción de arenas promueve una mayor macroporosidad, con lo cual se rompería dicho ascenso capilar y favorecería el lavado de los carbonatos alcalinoterreos a horizontes subyacentes (Arnold, 1968). De hecho la relación entre el contenido de carbonatos y el porcentaje de arenas tanto a nivel superficial como sub-superficial están relacionados en un 52% ( $R^2 = 0,52$ ).

Por otro lado, una mayor cobertura vegetal puede reflejar mayor densidad de raíces en el suelo, las cuales aportan al aumento en las concentraciones de  $CO_2$  en el suelo, lo que con contenidos hídricos aceptables (1 mol de  $H_2O$  por mol de  $CO_2$  liberado), contribuye a la formación de bicarbonatos de calcio, de mayor solubilidad que los carbonatos, los que por lixiviación pueden desplazarse hacia horizontes inferiores y reprecipitarse como carbonato de calcio. De hecho, este fenómeno permitiría que estas zonas sean muy importantes como sumideros de carbono atmosférico, no solo por fijación de carbono en los tejidos vegetales, sino también por la fijación en el suelo (Chadwick *et al.*, 1994).

La Figura 4.2 muestra efectivamente este efecto, en el cual se aprecian tendencias (aunque no diferencias significativas) de horizontes superficiales con menores contenidos de carbonatos respecto a los sub-superficiales, a la vez que el contenido promedio de carbonatos se reduce a medida que la freática se presenta más profunda (Figura 3.6; Tabla 3.1).

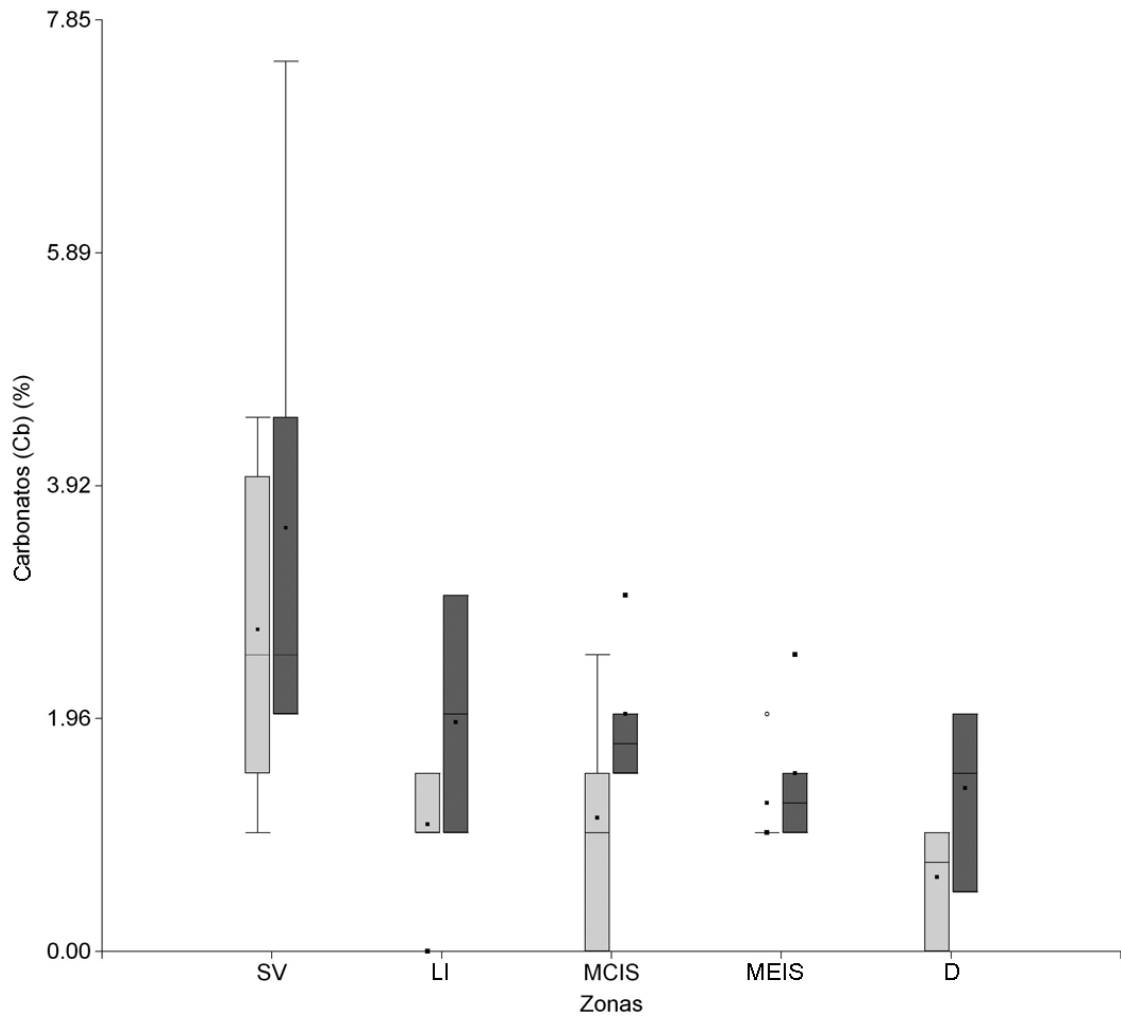


Fig. 4.2: Gráfico box plot para porcentaje de carbonatos (*Cb*), para horizonte superficial (gris claro) y sub-superficial (gris oscuro) por zona ( $n=26 * 2$  profundidades). Puntos representan valores medios; líneas sólidas, medianas; extremos de las cajas, los percentiles de 25 y 75%; extremos de líneas los percentiles de 5 y 95%. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Dunas.

La Figura 3.7 muestra el comportamiento de la densidad aparente en relación a cada zona. Se observa una reducción en sus valores a medida que se asciende topográficamente, aunque en las dunas los valores alcanzan valores mayores a los de zonas de llanuras aluviales. Por un lado un menor contenido de materia orgánica debido a una menor cobertura en zonas más salinas hace que este parámetro facilite una mayor densificación en dichas zonas, a diferencia de zonas con monte, donde la acumulación de material orgánico y la influencia de las raíces son considerables. Por otro lado, y comparando las dunas con el monte, el tipo de material acumulado en superficie va a

influir directamente sobre la densidad aparente del suelo. Así los suelos arenosos presentan mayores densidades aparentes que los suelos francos, limosos y arcillosos, a la vez que los tres últimos poseen mayor capacidad de promover la porosidad del suelo y reducir la densidad (Rawls *et al.*, 1982).

Respecto a los modelos obtenidos, utilizando las ocho variables edáficas ( $CE_h$ ,  $CE_s$ ,  $pH_h$ ,  $pH_s$ ,  $Prof$ ,  $Ar$ ,  $Cb$ ,  $Dap$ ) es posible obtener predicciones precisas sobre las variables de vegetación, como se muestra en los modelos 3.1, 3.10 y 3.21. Sin embargo, obtener estas relaciones es sumamente costoso ya que implica la determinación de numerosas variables y es necesario tomar muestras tanto en estación húmeda y seca.

Sin embargo, a través de la aplicación de un análisis “backward” (Di Rienzo *et al.*, 2007), es posible encontrar otras regresiones útiles, que requieren menos parámetros para explicar el comportamiento de las variables vegetales.

Sin lugar a dudas, las variaciones de cobertura se explican mejor utilizando al menos una variable de salinidad y de  $pH$ , ya sea para el ciclo húmedo o seco.

Para el segundo modelo (3.2), las variables  $Ar$ ,  $Cb$  y  $Dap$  pueden eliminarse (las más costosas de obtener), obteniendo un  $R^2$  de 0,95. La variable  $Prof$  también puede ser eliminada (3.3), reduciendo otra variable, pero manteniendo un valor de  $R^2$  igual al del modelo 3.2. Los modelos 3.4 y 3.5 también son útiles, lo que acota el tiempo de muestreo a una temporada, manteniendo altos valores de  $R^2$ .

También es posible obtener predicciones precisas para cobertura sólo con la conductividad eléctrica promedio y eliminando las variables de  $pH$ , aplicando tanto un modelo exponencial 3.6 o lineal 3.7. Sin embargo, es necesario tomar muestras en ambas temporadas. El modelo exponencial se ajusta mejor que el modelo lineal, pero puede ser más difícil de calcular. El modelo 3.7, a pesar de su bajo valor de  $R^2$ , puede ser utilizado para estimaciones rápidas.

La salinidad es la variable más importante y explica adecuadamente las variaciones de cobertura entre las distintas zonas.

El  $pH$  también es importante, pero varía con la cobertura como consecuencia de variaciones en la salinidad. Además, los valores de  $pH$  nunca llegan a valores extremos tales (varía entre 6,34 y 8,30 en temporada de lluvias y entre 6.02 y 8.51 en la estación seca) que pudieran afectar drásticamente las funciones fisiológicas de las plantas. Esta es la causa por la cual los valores de  $pH$  son positivos en los modelos 3.4 y 3.5.

El espesor de la capa superficial arenosa del suelo no presenta demasiada relevancia estadística en los modelos, sino que constituye una variable importante cuando se analiza junto a la salinidad, afectando a las plantas que puedan ser moderadamente sensibles a la salinidad. Esto es importante para las Cactáceas. Analizando las poblaciones de *Stetsonia coryne*, estas aparecen en aquellas zonas que presentan al menos 6 cm de espesor de arena suelo (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ; Figura 4.3), lo que permite a estas plantas desarrollar sus raíces superficiales (Pavón y Briones, 2001), y por lo tanto, contribuyendo a incrementar la cobertura vegetal.

De acuerdo a los valores de biodiversidad (Figura 3.9), a pesar de que sólo SV se diferencia del resto de las zonas, los mayores valores se observan en las dunas, posiblemente porque dichas zonas aparecen como parches dentro de la cuenca salina, pero presentan fisonomía de bosque, con mayores valores de riqueza florística. Esto permite no sólo un mayor potencial forrajero, sino también un alto potencial forestal, lo que las hace muy importantes para el uso silvopastoril (Karlin *et al.*, 2009).

Es posible hacer varias comparaciones entre la biodiversidad y la cobertura. Las ocho variables edáficas juegan un papel importante al explicar las variaciones de la biodiversidad, como se muestra en el modelo 3.10. Sin embargo, como con la cobertura vegetal, es posible eliminar las variables *Ar*, *Cb*, *Dap* y *Prof*, obteniendo el modelo 3.12 con un valor de  $R^2$  igual al modelo 3.11 (con *Prof* incluida).





Fig. 4.3: Cambio de zona (de SV a LI) por efecto de acumulación de arenas en superficie.

También es posible construir modelos con valores de  $CE$  y  $pH$  muestreados por temporada (modelos 3.13 y 3.14), obteniendo valores aceptables de  $R^2$ .

Para biodiversidad, la variable más importante es la salinidad total, representada por la conductividad eléctrica. Sin embargo, a diferencia de la cobertura vegetal, los modelos 3.15 y 3.16 no son estadísticamente robustas para estimaciones precisas, de acuerdo a los valores de  $R^2$  y Cp Mallows obtenidos. Los menores valores de  $R^2$  y Cp Mallows correspondientes a estos modelos se explican por los valores de uno de los sitios analizados (007), el cual es posible ver en la Figura 3.9 como máximo absoluto en LI. Este valor es un caso atípico debido al alto valor de biodiversidad obtenido. Si este dato se elimina del análisis, tanto los valores de  $R^2$  exponencial como lineal de  $H$  respecto a  $CE_{pr}$ , cambian a 0,74 y 0,71, respectivamente, y el valor de Cp Mallows de  $CE_{pr}$  en la ec. 3.16 aumenta de 23,4 a 56,1. El  $R^2$  del modelo 3.17 cambia de 0,50 a 0,61 al eliminar este sitio del análisis.

La regresión cobertura vegetal – receptividad ganadera (Figura 3.11, ec. 3.19), es la que mejor se ajusta a un valor de  $R^2$  estadísticamente confiable de 0,88. Sin embargo, con los índices de biodiversidad (Figura 3.12, ec. 3.20) es posible hacer predicciones rápidas para receptividad ganadera sin ningún tipo de medición instrumental sofisticado, aunque la fiabilidad estadística es menor que con el anterior ( $R^2=0,65$ ). Este índice puede ser subjetivo, ya que se basa en observaciones directas, donde cada persona adopta un criterio personal. Sin embargo, este resultado es interesante como herramienta para la cuantificación inicial de la receptividad ganadera.

Los modelos que relacionan los parámetros del suelo con la receptividad ganadera (3.21 a 3.29) son muy importantes si tenemos en cuenta que pocas variables edáficas explican la mayor parte de las variaciones en la *RG* de la región. Éstas también permiten cuantificar con precisión la *RG* para cada zona. La conductividad eléctrica promedio es un indicador confiable de *RG* (modelos 3.26 y 3.27).

Tanto para cobertura, biodiversidad y receptividad ganadera, al aplicar el análisis “stepwise”, los modelos más robustos corresponden a las ec. 3.9, 3.18 y 3.29; aunque este análisis no considera el costo de obtención de las variables. Es por esto que las ecuaciones que consideran sólo conductividad eléctrica pueden ser las más prácticas para su aplicación.

La función de cubierta vegetal (Figura 3.11, ec. 3.19) es el que mejor relación presenta entre precisión y factibilidad de medición para la predicción de la receptividad ganadera, pudiendo ser aplicada por los campesinos locales y técnicos para evaluaciones periódicas.

En base al análisis anterior, es posible agrupar zonas para la aplicación de estrategias de forrajeo diferencial. Con los valores de abundancia-dominancia de las especies estudiadas por el método de Braun-Blanquet es posible realizar un análisis de conglomerados (Figura 4.4). Mediante el uso de todas las especies, se obtiene una clasificación con áreas de posible homogeneización de manejo, sobre la base de la

vegetación. El análisis de conglomerados muestra áreas con elevadas concentraciones de salinidad correspondientes al agrupamiento "salinas", donde la cobertura vegetal y la receptividad ganadera son reducidas, pero resultan de gran interés como áreas de amortiguamiento para el pastoreo, especialmente durante el invierno, cuando *Distichlis acerosa* rebrota y es más palatable (Cora, com. pers.; observaciones de los pobladores locales). También se muestran zonas intermedias, desde un punto de vista topográfico, constituido por los "llanos", que agrupa a LI y zonas de MCIS. En este caso, es posible encontrar las áreas de pastoreo más importantes debido a que, en contraste con las zonas altas, estas áreas ofrecen buen forraje durante todo el año por la presencia de arbustos forrajeros. Los "altos", que agrupan a MEIS y D, presentan forraje de calidad regular y una buena potencialidad forestal, siendo estos sub-ambientes de buena aptitud silvopastoril. La ventaja que ofrecen las dunas es que también presentan especies halófitas en las partes bajas que colindan con áreas salinas (*Atriplex Argentina*, *Maytenus vitis-idaea* y *Cyclolepis genistoides*), aumentando la receptividad ganadera (Karlin *et al.*, 2009).

Un solo sitio (330) correspondiente a SV, se encuentra fuera de la clasificación, quizás debido a la presencia de algunas especies generalistas (Roig, 1973), es decir, especies que se pueden encontrar en múltiples zonas (*Prosopis reptans*, *Lippia salsa*, *Erhetia cortesia*, *Opuntia sulphurea*, *Sporobolus pyramidatus*). Este sitio presenta abundancia de especies generalistas similar al sitio 643.

Debido a la presencia de especies generalistas, se realizó un análisis de varianza (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ) para identificar especies indicadoras. Esto permitió la identificación de especies dominantes (Roig, 1973) como posibles especies clave para la identificación de diferentes zonas (Tabla 3.1).

Con las especies indicadoras se realizó un análisis discriminante, clasificando los diferentes sitios de acuerdo a las unidades de manejo previamente determinadas. Las tasas de referencia cruzada no mostraron errores de clasificación. Las agrupaciones pueden observarse en la Figura 4.5.

Estas unidades muestran que la vegetación es un buen indicador de las condiciones ambientales, no sólo por su mera presencia, sino por su abundancia-dominancia específica.

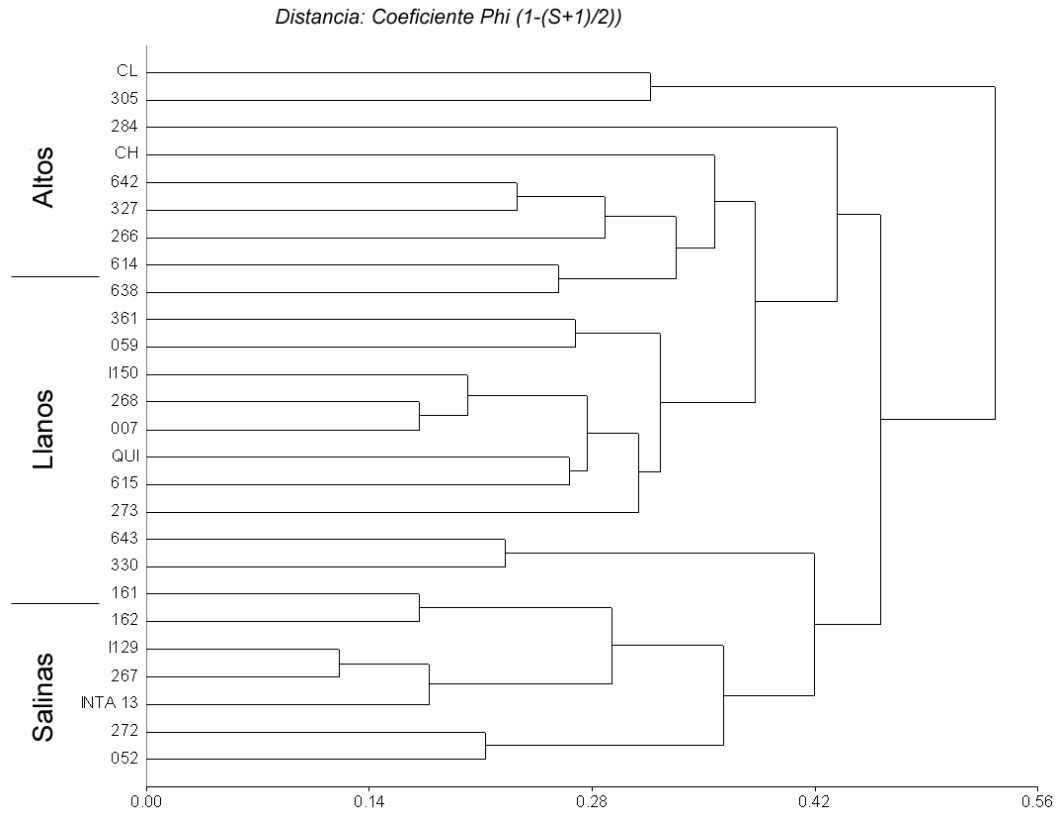


Fig. 4.4: Análisis de conglomerados en base a valores de abundancia-dominancia del total de la vegetación. Coeficiente de correlación cofenética: 0,818. Variables estandarizadas. “Altos”: Dunas (D) y Monte con Escasa Influencia Salina (MEIS); “Llanos”: Llanos Inundables (LI) y Monte Con Influencia Salina (MCIS); “Salinas”: Salina Vegetada (SV). (n=26).

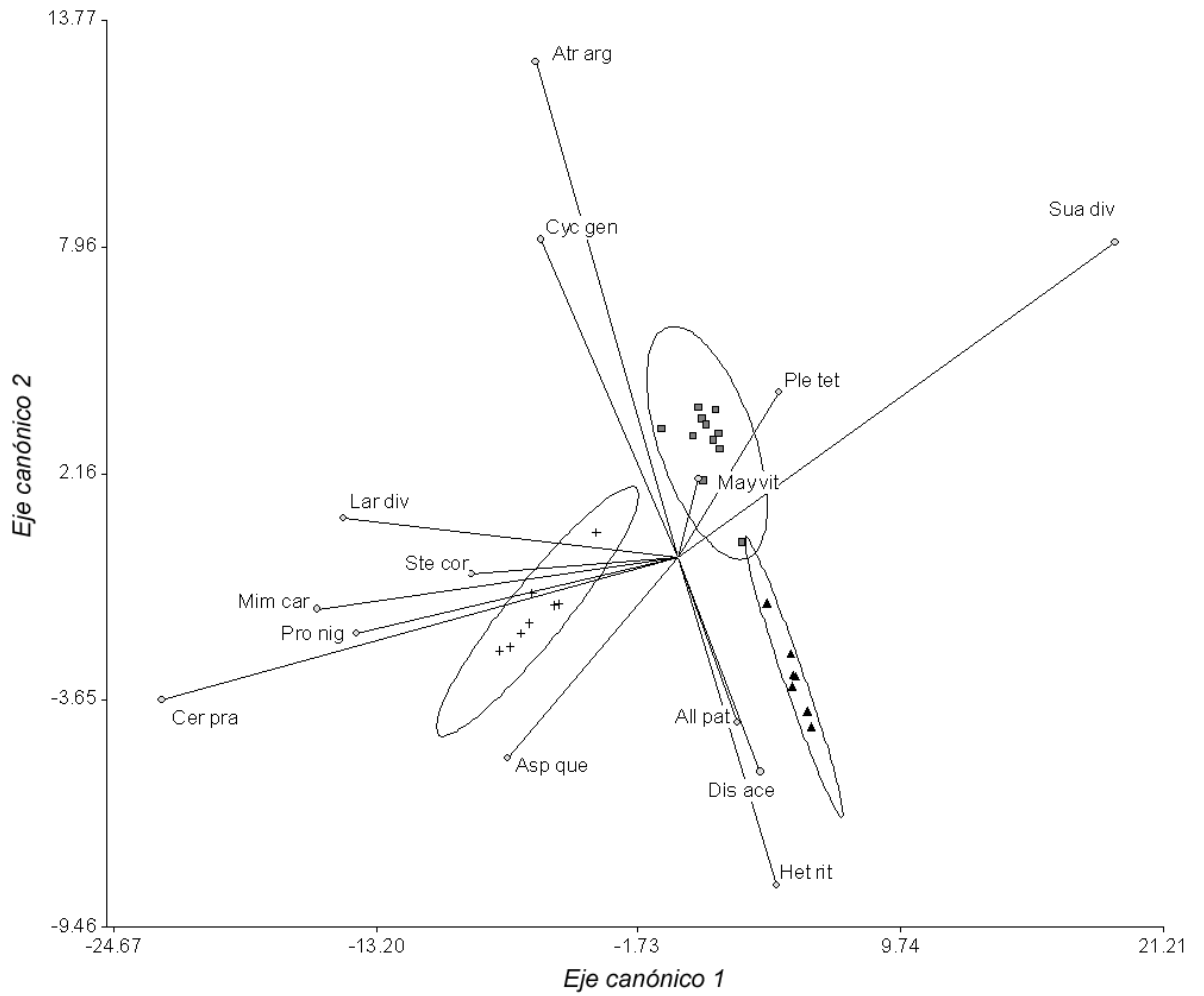


Fig. 4.5: Análisis discriminante de las variables de abundancia-dominancia de las especies indicadoras. Triángulos negros: “Salinas”; cuadrados grises: “Llanos”; cruces: “Altos”. Het rit: *Heterostachys ritteriana*; All pat: *Allenrolfea patagonica*; Dis ace: *Distichlis acerosa*; May vit: *Maytenus vitis-idaea*; Ple tet: *Plectrocarpa tetraacantha*; Sua div: *Suaeda divaricata*; Cyc gen: *Cyclolepis genistoides*; Atr arg: *Atriplex argentina*; Lar div: *Larrea divaricata*; Ste cor: *Stetsonia coryne*; Mim car: *Mimozyganthus carinatus*; Cer pra: *Cercidium praecox*; Asp que: *Aspidosperma quebracho blanco* (n=26).

## RELACIONES FENOLÓGICAS SUELO-PLANTA-CLIMA<sup>1</sup>

La Figura 3.13 muestra que la floración y fructificación en general, es más tardía al aumentar el tenor salino de los suelos (ver Figura 3.2). Esto puede deberse a que en las zonas SV y LI se establecen especies adaptadas que no se encuentran en otras zonas, o a efectos de las concentraciones salinas sobre especies que pueden encontrarse en zonas diferentes.

Debido a que las especies relevadas dentro de la familia de las Quenopodiáceas son en su totalidad halófitas, las adaptaciones genéticas a los ambientes salinos permitirían que dichas especies florezcan y fructifiquen bajo condiciones favorables para la planta. Se observa que la floración en estas especies ocurre luego de que en el suelo se acumuló una considerable cantidad de agua de lluvia, produciendo la dilución de las sales presentes en dichos suelos.

La fenofase inicio de floración en la familia de las Asteráceas aparentemente no se produce por la ocurrencia de precipitaciones, ya que comienza antes del período normal de lluvias, lo que indicaría que su patrón fenológico se activa probablemente por efectos de la temperatura y/o fotoperíodo. Este caso resulta interesante ya que poseen un efecto de activación de fenofases reproductivas independiente de las lluvias, a pesar de instalarse en áreas de alto contenido salino, ya que se ubican preferentemente en zonas LI (conductividades eléctricas entre 5 y 25 dS m<sup>-1</sup>, Figura 3.2), con lo cual estas especies poseen la capacidad de producir flores y frutos a pesar de los altos potenciales osmóticos que se presentan en la época seca.

Las Fabáceas, Zigofiláceas y Cactáceas también comenzaron a florecer antes de las precipitaciones en la temporada 2007-2008, pero lo hicieron luego de las lluvias en la temporada 2008-2009. En estas familias no se observaron diferencias significativas (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ) en las fechas de ocurrencia de la fenofase inicio de floración entre ambas temporadas, lo que indicaría que los estímulos para florecer serían independientes de las precipitaciones. En el caso de las Zigofiláceas y Cactáceas tampoco se observaron diferencias significativas entre temporadas en las fenofases inicio, plenitud y final de

---

<sup>1</sup> Los resultados y discusión de este tema han sido publicados y se muestran en el ANEXO 9.

fructificación, sin embargo se observaron diferencias significativas (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ) para estas fenofases en las Fabáceas, con lo cual las variables edáficas afectarían la formación y llenado de frutos.

En el caso de las Quenopodiáceas se observaron diferencias significativas (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ) en la fecha de ocurrencia de las fenofases en ambos años, lo que indicaría que existe un efecto claro de la acumulación de agua en el perfil del suelo sobre la floración y fructificación. Es decir, el comienzo de la floración ocurriría bajo la presencia de cierto tenor hídrico que permita diluir las sales en el suelo. De hecho, se observa que las fechas de las fenofases son más atrasadas en aquellas especies que se desarrollan en zonas más salinas. *Atriplex argentina* y *Suaeda divaricata* se desarrollan bajo tenores salinos similares (menores a  $25 \text{ dS m}^{-1}$ ) y son las primeras en florecer y fructificar dentro de la familia Quenopodiáceas, mientras que *Allenrolfea patagonica* sigue en la secuencia y luego lo hace *Heterostachys ritteriana*, los cuales se desarrollan bajo tenores salinos mayores (predominan en la zona SV con conductividades eléctricas mayores a  $25 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Figura 3.2).

En las Poáceas no se observaron diferencias significativas (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ) en el comienzo de la floración entre ambas temporadas, pero sí se observó para fructificación, con lo cual la acumulación de agua en el perfil sería fundamental para el llenado de frutos.

Las Cactáceas tendrían la capacidad de proliferar en aquellas zonas en las cuales se encuentra un horizonte superficial arenoso, lo que permite que se produzca un fenómeno de destilación natural del agua edáfica (Ruiz Posse *et al.*, 2007), la cual es aprovechada por su sistema radical superficial (Pavon y Briones, 2001), permitiendo también el aprovechamiento del agua inmediatamente después de la ocurrencia de lluvias, maximizando así el uso del agua disponible. Debido a que la floración en Cactáceas se produciría por estímulos tales como termoperiodo o fotoperiodo, esta adaptación no sería tan importante para esta fenofase, ya que según Pavón y Briones (2001) utilizarían el agua de sus tejidos para activar la floración. Sin embargo, podría ser importante sobre la fructificación, y sobre todo para el llenado del fruto.

Las diferencias fenológicas permiten agrupar las zonas en dos grandes grupos (Figura 4.6): áreas con altos contenidos salinos promedio (superiores a  $10 \text{ dS m}^{-1}$ ) y áreas con menor contenido salino (menos de  $10 \text{ dS m}^{-1}$ ). Es de destacar que en las zonas SV y LI se observan diferentes tendencias, antes y después de la ocurrencia de lluvias. Se observa en la Figura 3.2 que la concentración salina en ambas zonas es mayor en época seca que húmeda. Esto se debe a la concentración de las sales por ascenso de agua capilar debido a la evapotranspiración. Aquí predominarían las sales solubles como cloruros y sulfatos de sodio (Richards, 1954).

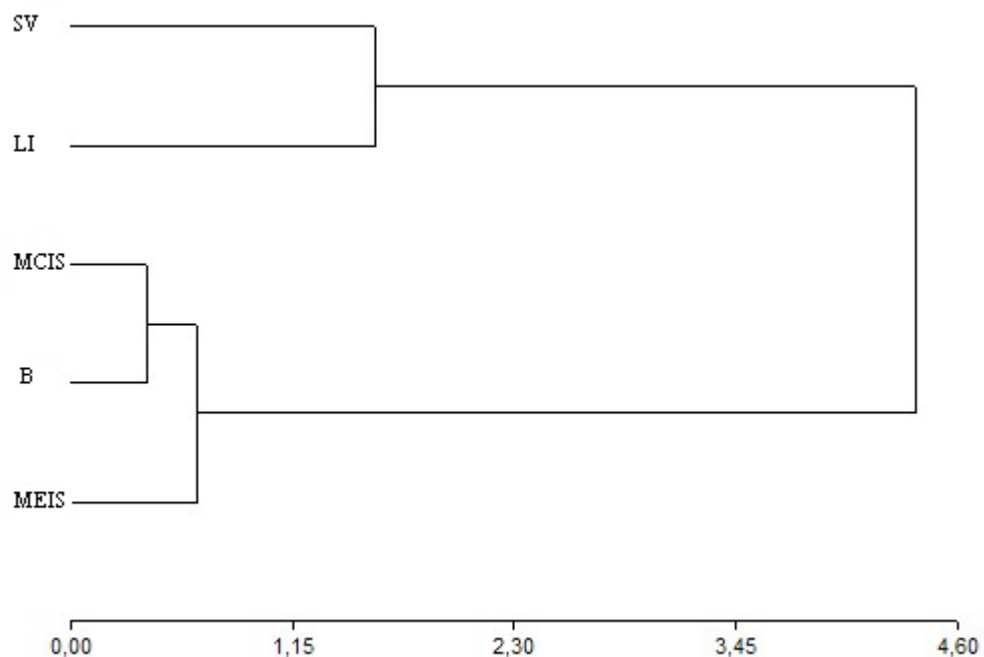


Fig. 4.6: Análisis de conglomerados en función a las variables fenológicas. Distancia Euclídea. Correlación cofenética: 0,979. Variables estandarizadas.

Las diferencias de concentración y tipos de sales en el suelo entre zonas con alto contenido salino y zonas con relativamente bajos contenidos salinos, condicionan su manejo. Dichas diferencias permiten una oferta diferencial de recursos más amplia en el tiempo tales como néctar y polen, pudiendo ser aprovechada por las abejas silvestres y domésticas, aumentando el potencial apícola. Asimismo, permite contar con una oferta forrajera continua a través del año, mediante la utilización de productos (flores y frutos forrajeros) de las diferentes zonas.



En ninguna de las especies generalistas estudiadas se observaron diferencias significativas (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ) cuando se las comparó sobre diferentes zonas. Esto indicaría que la respuesta de las especies frente a los cambios de salinidad sería provocada por adaptaciones genéticas y no existen cambios de fecha de fenofases en una misma especie al cambiar de zona.

## **RELACIONES DINÁMICAS SUELO-PLANTA<sup>2</sup>**

### **DINÁMICA DE SUCESIÓN**

En ecosistemas salinos, las plantas deben usar reservas de alta exergía (energía de alta calidad) para igualar el potencial osmótico del suelo y poder absorber agua. En estos casos, las sales solubles constituyen un impedimento para la formación de la biomasa de la planta, aumentando la entropía del sistema. Este efecto se vería compensado en parte a través de la adaptación de las especies, cuantificada en la información genética. Por lo tanto, la reducción de la biomasa en un sub-sistema a veces es compensado con un incremento en la información genética (Sherwin, 2010).

La presencia de sales solubles en el suelo genera condiciones adversas para las especies no adaptadas, reduciendo la cantidad total de biomasa en el sub-sistema, y por lo tanto, también su exergía. Esta reducción de la biomasa está relacionada con una disminución de la riqueza y la diversidad biológica (Begon *et al.*, 2006).

De acuerdo a diversos autores (Odum, 1972; Patten, 1959; Margalef, 1956), si la biodiversidad es alta, el sistema gana estabilidad. Por lo tanto, cuando una comunidad se mueve hacia un clímax (o más correctamente, estado de equilibrio, véase ANEXO 6), su biodiversidad aumenta. Esto puede apreciarse en la Figura 3.9 y en la Tabla 4.1, la cual ha sido modificada sobre la Tabla 3.1, a los efectos de evaluar la dinámica.

Sin embargo, los hechos demuestran que esto no siempre ocurre. Un claro ejemplo es lo que sucede después de los incendios forestales (Figuras 3.15 y 3.16), donde el sistema experimenta la invasión de especies oportunistas (*r*) (Begon *et al.*, 2006; Odum, 1972),

---

<sup>2</sup> Los resultados y discusión de este tema fueron publicados y se muestran en el ANEXO 9.

aumentando temporalmente su biodiversidad. Estas especies son más tarde reemplazadas por especies de mayor capacidad de competencia interespecífica ( $K$ ). Es posible que después de una perturbación por incendios, la diversidad varíe a pesar de la recuperación del sistema (Shafi y Yarranton, 1973), y esta diversidad dependa de la capacidad de competencia interespecífica. Por lo tanto, la cobertura vegetal y la abundancia de algunas poblaciones alcanzan valores más altos que los de la máxima capacidad de carga calculada para las condiciones cuasi-naturales, aumentando la distancia Euclídea respecto al estado de equilibrio, siendo posible la coexistencia de especies tipo  $r$  y  $K$  al mismo tiempo, aumentando consecuentemente la biodiversidad luego de un disturbio, de acuerdo a la Hipótesis de Disturbios Intermedios (Roxburgh *et al.*, 2004). Sin embargo en sistemas áridos y semiáridos la diversidad también puede disminuir sin evidenciarse recuperación, iniciando procesos de desertificación irreversibles.

En comparación con el sitio quemado, el sitio menos perturbado (con mayor índice de biodiversidad) presenta predominancia de especies de estrategia  $K$  (Begon *et al.*, 2006), siendo la mayoría de ellas especies perennes, generando una zona más estable. Al encontrarse más cerca del estado estacionario, los valores de abundancia-cobertura se acercan más a la máxima capacidad de carga calculada para condiciones cuasi-naturales.

Tilman concluye en un estudio (1996) que la diversidad de especies tiene un efecto claro y significativo sobre la resistencia a las perturbaciones, pero equívoco en la tasa de recuperación frente a una perturbación. Posiblemente, el índice de diversidad puede ser un buen indicador de sucesiones primarias, pero no de sucesiones secundarias. Debido a esto, los indicadores de biodiversidad no son suficientes para definir la estabilidad de un sistema. Tampoco serían satisfactorios para la evaluación de las sucesiones ecológicas.

Los coeficientes de Lyapunov ( $L$ , previamente definidos) podrían ser indicadores de interés en lugar de los índices de biodiversidad.

Tabla 4.1 (modificada de la Tabla 3.1): Tabla fitosociológica sintética de las Salinas Grandes. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Duna, Q: Bosque quemado. Las areas bordeadas indican las especies representativas de cada zona.

Zonas	SV (n=7)	LI (n=3) con baja frecuencia de <i>Stetsonia coryne</i>	LI (n=4) con alta frecuencia de <i>Stetsonia coryne</i>	MCIS (n=4)	MEIS (n=4)	D (n=4)	Q (n=1)
<b>Grandes Grupos y Sub-grupos de suelo (Soil Survey Staff, 2010)</b>	Aquisalids cálcicos y Haplosalids gípsicos	Haplosalids cálcicos y gípsicos	Haplosalids cálcicos y gípsicos	Haplosalids cálcicos	Ustortents y Torriortents	Torripsaments ústicos y típicos	Torriortent típico
<b>Cobertura vegetal (%)</b>	18 - 45	81	82	88	95	83	86
<b>Índice promedio de Shannon-Weaver</b>	1.09 +/- 0.49	1.78 +/- 0.33	2.90 +/- 1.83	3.06 +/- 0.36	3.06 +/- 0.39	3.19 +/- 0.45	3.96
<b>Conductividad eléctrica promedio (dS m<sup>-1</sup>)</b>	56.4 +/- 14.7	19.0 +/- 2.48	12.6 +/- 6.57	8.23 +/- 3.77	2.18 +/- 2.12	2.22 +/- 0.90	11.2
<b>Rango de profundidad del hz. sup. arenoso (cm)</b>	0 - 8	0 - 8	6 - 19	12 - 42	> 100	> 100	> 100
<i>Heterostachys ritteriana</i> †	3	1					
<i>Allenrolfea patagonica</i>	3						
<i>Distichlis acerosa</i>	1	+					
<i>Lippia salsa</i>	1	+	+	1	+	1	3
<i>Tephrocactus weberi</i>	1			1			
<i>Sporobolus pyramidatus</i>	1	1		1		1	1
<i>Alternanthera nodifera</i>	1	1	+				
<i>Prosopis reptans</i>	1	1	1	1		1	2
<i>Grahamia bracteata</i>	1	+	1	1	+	1	
<i>Plectrocarpa tetraantha</i>	+	+	1	1		+	1
<i>Opuntia sulphurea</i>	+	1	1	1	1	1	1
<i>Trichloris crinita</i>		1	1	1	2	1	
<i>Opuntia quimilo</i>		+	1	+			

† Especies indicadoras

Tabla 4.1 (Cont.): Tabla fitosociológica sintética de las Salinas Grandes. SV: Salina Vegetada, LI: Llano Inundable, MCIS: Monte Con Influencia Salina, MEIS: Monte con Escasa Influencia Salina, D: Duna, Q: Bosque quemado.

Zonas	SV (n=7)	LI (n=3) con baja frecuencia de <i>S. coryne</i>	LI (n=4) con alta frecuencia de <i>S. coryne</i>	MCIS (n=4)	MEIS (n=4)	D (n=4)	Q (n=1)
<i>Erhetia cortesía</i>	+	1	1	1		+	+
<i>Cyclolepis genistoides</i> <sup>†</sup>	+	2	1	1	+	+	1
<i>Atriplex argentina</i> <sup>†</sup>	+	2	4	3	+	+	
<i>Maytenus vitis-idaea</i>	+	1	3	2	1	1	2
<i>Stetsonia coryne</i> <sup>†</sup>		1	3	3	1	2	3
<i>Geoffroea decorticans</i>		+	3	3	1	1	2
<i>Lycium spp.</i>			1	1	1	2	1
<i>Suaeda divaricata</i>			1	1	1		
<i>Mimozyanthus carinatus</i> <sup>†</sup>				3	2	3	2
<i>Gymnocalycium delaetii</i>				1	+		
<i>Bromelia urbaniana</i>		+		1	+	1	
<i>Larrea divaricata</i> <sup>†</sup>				+	2	3	
<i>Aspidosperma quebracho blanco</i> <sup>†</sup>				+	1	2	3
<i>Solanum eleagnifolium</i>							3
<i>Cercidium praecox</i>				+	2	+	+
<i>Larrea cuneifolia</i>					2	+	
<i>Pappophorum subbulbosum</i>		1			1	1	
<i>Capparis atamisquea</i>				+	1	1	1
<i>Prosopis torquata</i>				+	1	1	
<i>Setaria leucopila</i>				+	1	+	1
<i>Senna aphyla</i>				+	1	+	1
<i>Prosopis nigra</i>					1	+	
<i>Castela coccinea</i>					1	+	+
<i>Cordobia argentea</i>					1	+	
<i>Cleistocactus baumanii</i>				+	+	1	
<i>Ximenia americana</i>					+	1	
<i>Tricomaria usillo</i>				+		1	
<i>Harrisia pomanensis</i>				+		1	

El coeficiente  $L$  puede ser considerado como el cuadrado de la distancia Euclídea entre el estado actual del sistema y su equilibrio (dinámico). Si  $L$  disminuye con el tiempo, entonces, de acuerdo con el teorema de estabilidad de Lyapunov, se espera que el sistema se mueva hacia un estado estacionario. Si ocurre lo contrario, el equilibrio es inestable (Jørgensen y Svirezhev, 2004) y se vuelve menos resiliente (Figura 3.15).

De acuerdo con las observaciones de campo y estudios análogos a otros registros de sucesión (Méndez, 1993; Odum, 1972; Watt, 1947), los cambios espaciales en nuestra área de estudio se correlacionan con procesos geomorfológicos. Si identificamos las diferentes zonas en relación a una transecta virtual de disminución de salinidad (ANEXO 7), es posible identificar los cambios desde Salinas (con un máximo de conductividad eléctrica y una total ausencia de vegetación) hasta Monte con Escasa Influencia Salina (con un mínimo de conductividad eléctrica, mayor espesor del horizonte superior arenoso del suelo, mayor porcentaje de arenas en superficie y máxima cobertura vegetal) (Figuras 3.17, 3.18, 4.1 y 3.19). A medida que ascendemos topográficamente, se encuentra menor contenido de sales solubles, con algunas especies indicadoras (LSD de Fisher,  $p < 0,05$ ) que aparecen desde el centro de la cuenca, tal como *Heterostachys ritteriana* (Ragonese, 1951), que define la zona Salina Vegetada. Siguiendo la transecta, aparecen comunidades de *Cyclolepis genistoides* y *Atriplex argentina*, definiendo los Llanos Inundables. En este punto, la acumulación de arena en la superficie del suelo llega a ser importante (Tabla 4.1), lo que reduce el contenido de sal del suelo (Figura 3.19) y permite la instalación de poblaciones de *Stetsonia coryne*. Esta especie se desarrolla sobre un horizonte arenoso de por lo menos 6 cm de espesor (LSD Fisher,  $p < 0,05$ ). Siguiendo la transecta, aparecen comunidades de *Mimozyganthus carinatus* en terrenos más altos, definiendo el Monte Con Influencia Salina, y luego el Monte con Escasa Influencia Salina donde predominan *Aspidosperma quebracho blanco* y *Larrea divaricata* (Tabla 4.1 y Figura 4.6). Las especies mencionadas son las que presentan una mayor frecuencia relativa, definiendo las diferentes zonas a través de las combinaciones de dichas especies.

En la Figura 4.7 se pueden ver las diferentes poblaciones dominantes, en relación con un gradiente de salinidad creciente, definiendo las diferentes comunidades. Estas comunidades pueden ser clasificadas como "crecientes" (comunidades de *Heterostachys*

*riteriana*), "intermedias" (comunidades de *Cyclolepis genistoides*, *Atriplex argentina* y *Stetsonia coryne*) o "decrecientes" (comunidades de *Mimozyanthus carinatus*, *Larrea divaricata* y *Aspidosperma quebracho-blanco*). Esto permite definir tres grandes clases de manejo ambiental (al igual que aquellas definidas en la Figura 4.5), en base a la salinidad y al espesor del horizonte arenoso.

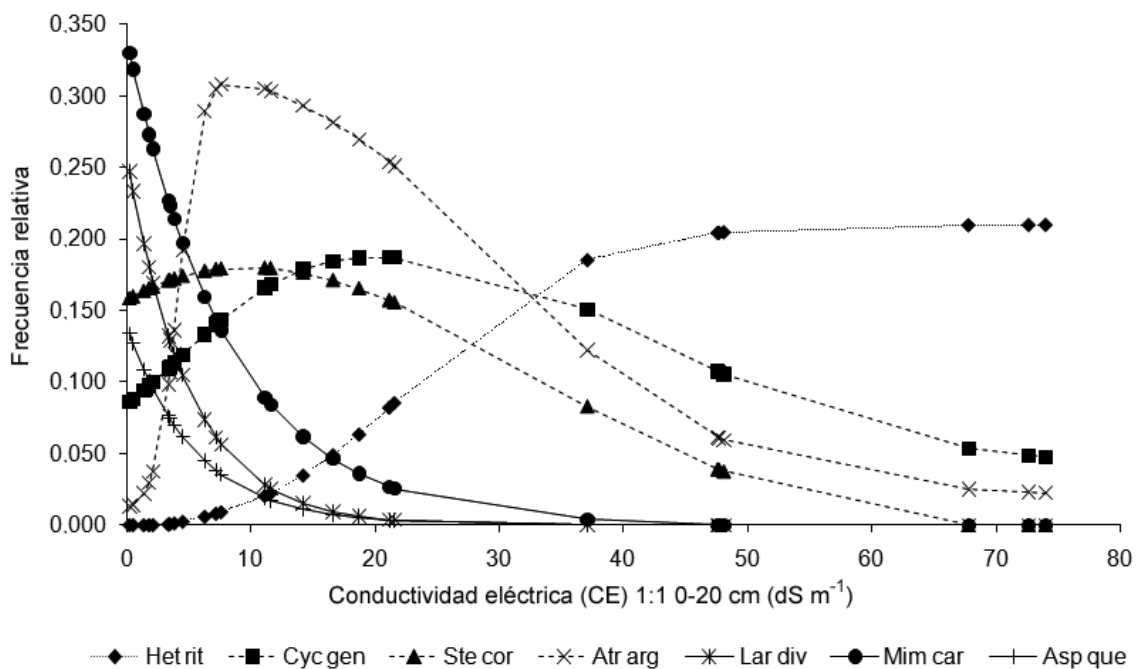


Fig. 4.7: Curvas de frecuencia relativa en relación a la conductividad eléctrica (CE). *Heterostachys ritteriana*: Het rit; *Cyclolepis genistoides*: Cyc gen; *Stetsonia coryne*: Ste cor; *Atriplex argentina*: Atr arg; *Larrea divaricata*: Lar div; *Mimozyanthus carinatus*: Mim car; *Aspidosperma quebracho blanco*: Asp que.

Las especies en SV actúan como barreras contra el viento, acumulando las partículas transportadas por efecto de la deflación de la cuenca salina (Gutiérrez Elorza, 2008), donde en consecuencia, se instalan especies menos halófitas. En zonas altas, la acumulación de arena también se produce debido al efecto de la vegetación sobre las laderas. Asimismo, durante la temporada de lluvias, las dunas se erosionan y las arenas son transportadas por escorrentía y se depositan en tierras bajas.

Es posible, entonces, esquematizar la dinámica de los ecosistemas (Figura 4.8).

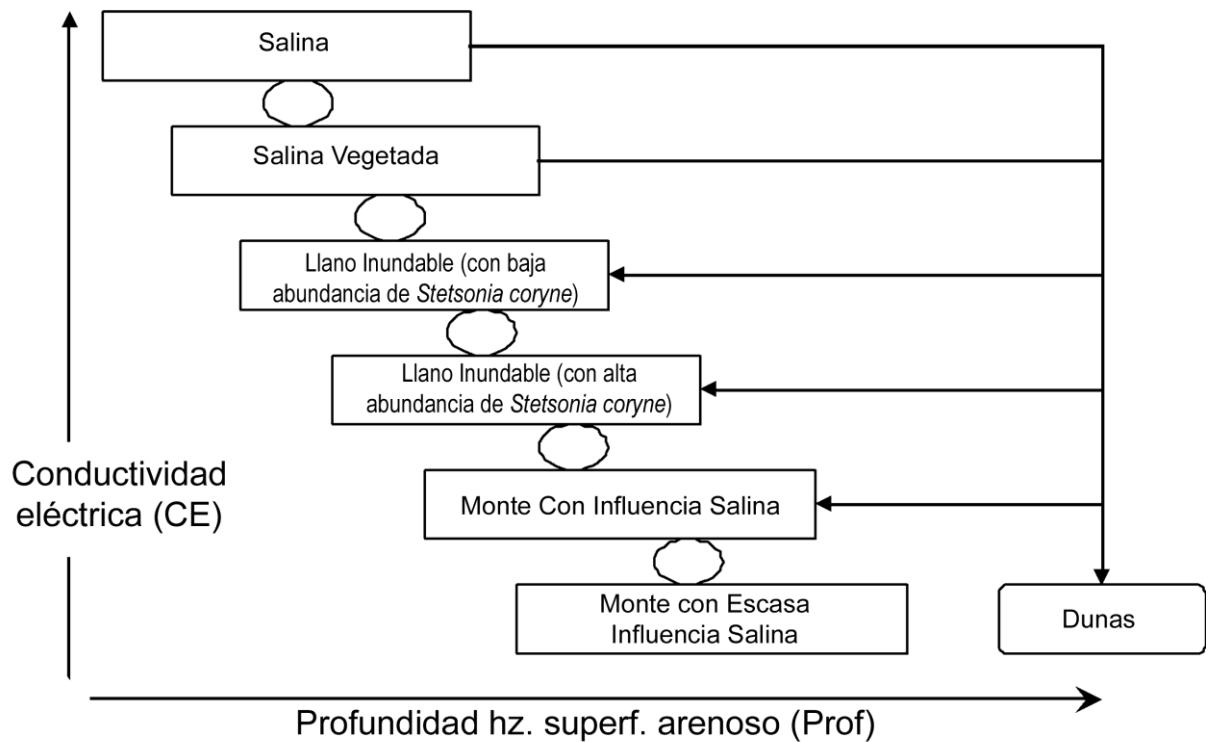


Fig. 4.8: Esquema de las relaciones entre las zonas consideradas y las variables edáficas.

En relación a estos procesos, la dinámica de las zonas depende de las condiciones del clima y la cobertura vegetal que regulan los procesos de erosión.

Es posible hipotetizar que si en años sucesivos se producen lluvias por encima de la media histórica, y la cubierta vegetal es escasa debido a la degradación antrópica, procesos de erosión y esorrentía se producirían en zonas altas, generando sedimentación en las tierras bajas, evolucionando a zonas LI y MCIS, caracterizadas por el desarrollo de una capa delgada de arena en superficie y con predominio de especies intermedias. Si en años sucesivos se producen precipitaciones por debajo de la media histórica, la reactivación de dunas sería posible, reduciéndose la erosión hídrica y favoreciendo la acumulación de arena por deflación debido a la depresión de la capa freática en la cuenca, la cual controla la erosión eólica. Sin embargo, la estabilización de dunas requiere la producción de biomasa, que, obviamente, requiere agua. Por lo tanto, durante este ciclo seco, una fluctuación anual entre las estaciones secas y húmedas es necesaria para que este proceso ocurra, con largas temporadas secas (otoño, invierno y primavera) y con la mayor concentración de lluvias en verano, cuando las plantas son fenológicamente más activas. Para evitar que las dunas sean erosionadas por la lluvia, la instalación de especies de rápido

crecimiento (tipo  $r$ ) es necesaria para reducir la escorrentía y la erosión, y por lo tanto retrocesos en la sucesión primaria. Precipitaciones de baja intensidad y alta frecuencia favorecerían la estabilización de dunas.

En relación a posibles cambios en las precipitaciones a futuro, algunos modelos predictivos (Labraga y Villalba, 2009) anuncian cambios positivos importantes para el período 2071-2100 (de entre 10 y 20%) en las lluvias promedio de verano para esta región, lo cual promovería procesos de erosión de dunas y deposición en zonas bajas si las condiciones de sobrepastoreo y tala se mantuvieran o aumentarían.

Por otra parte, un aumento en las precipitaciones, temperatura y carbono atmosférico supondrían un aumento en la productividad primaria neta, lo cual redundaría en un aumento en la biomasa forrajeable, especialmente en la arbustización del sistema (Huenneke et al., 2002).

Es posible, a través de los procesos de erosión/deposición, que las zonas evolucionen hacia un estado estacionario en función del clima predominante (equilibrio climático). La zona MEIS se desarrolla en abanicos aluviales con materiales como arenas gruesas de grano medio, diferentes de los materiales arenosos finos acumulados superficialmente en otras zonas. Por lo tanto, es posible eliminar esta zona del presente esquema de sucesión considerándolo como parte de otra sucesión climática.

## **IMPORTANCIA AGRONÓMICA DE LOS CONCEPTOS DISCUTIDOS**

Es posible relacionar las variables conductividad eléctrica (como una medida de la entropía del sistema) y los coeficientes de Lyapunov (como una medida de su exergía) con los valores de receptividad ganadera del sistema obtenidos a través del método Point Quadrat, definiendo funciones de predicción a través de variables de medición rápida, estableciendo la funcionalidad de cada punto de la cuenca de estudio. Las funciones de las Figuras 4.9 (ec. 3.26) y 4.10 (ec. 4.2) ajustan satisfactoriamente con  $R^2$  de 0,89 y 0,91, respectivamente. Estos altos valores de  $R^2$  permiten confianza en las predicciones.



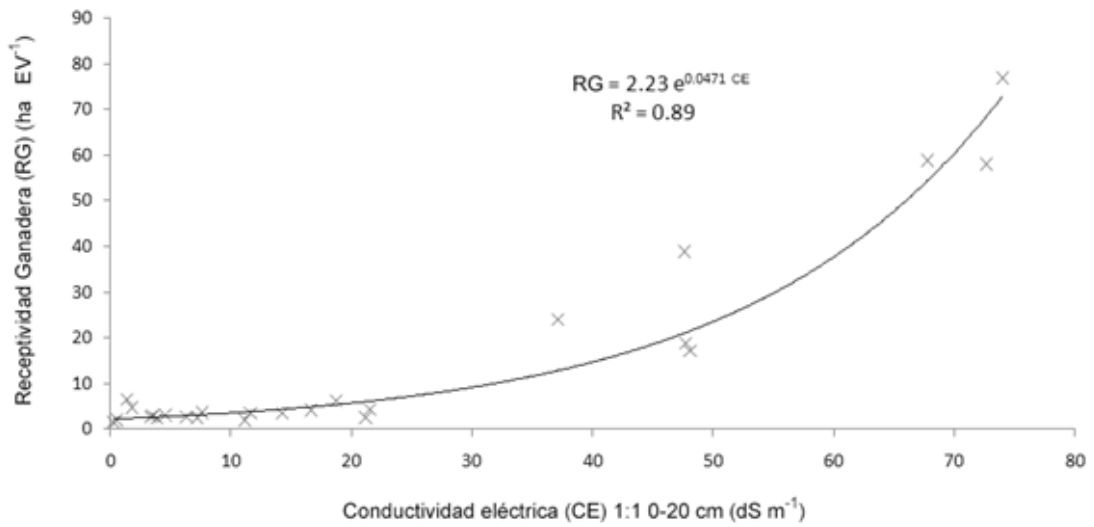


Fig. 4.9: Función no lineal de la receptividad ganadera ( $RG$ ) en relación a la conductividad eléctrica ( $CE$ ). En el gráfico se muestra la ec. 3.26.

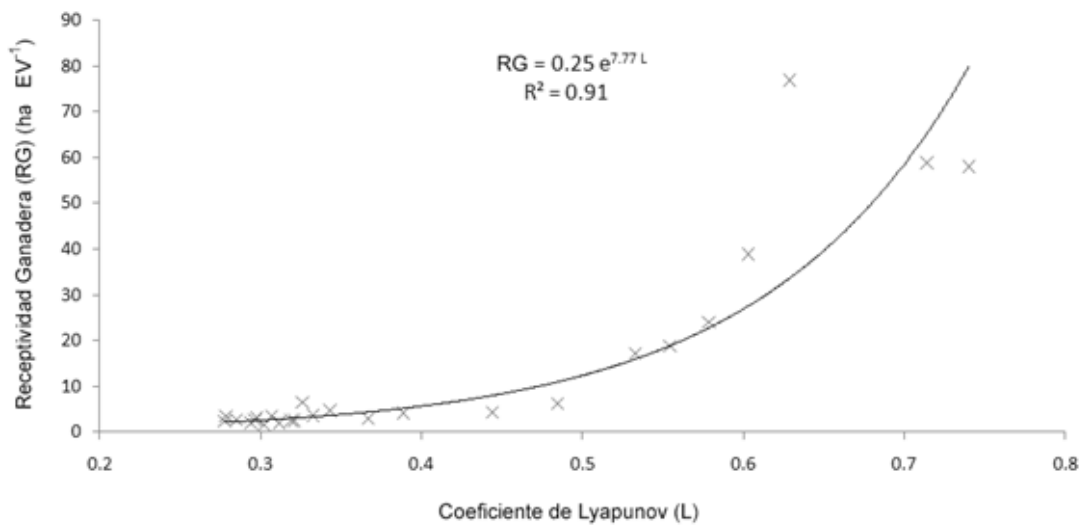


Fig. 4.10: Función no lineal de la receptividad ganadera ( $RG$ ) en relación a los coeficientes de Lyapunov ( $L$ ). En el gráfico se muestra la ec. 4.2.

Al parecer, la reducción de la salinidad del suelo, a medida que se asciende topográficamente, permite la instalación de especies con mayor biomasa que forman barreras físicas contra el viento y el agua, al igual que ocurre por ejemplo en áreas salinas

de Australia (McTainsh y Strong, 2007; Harper y Gilkes, 2004) o del suroeste de España (García *et al.*, 1993). Este proceso permite la acumulación de materiales transportados por estos agentes. La deposición de arena en la capa superior del suelo permite que las plantas absorban el agua fácilmente. Si las especies son eliminadas por efecto de sobrepastoreo y deforestación severa, la cobertura vegetal se reduce y el suelo es susceptible a la erosión. El ascenso de las aguas subterráneas salinas afecta la instalación de las plantas, sin embargo, la capa superficial arenosa del suelo reduciría el ascenso capilar.

Es lógico pensar que mientras la sucesión primaria teórica evoluciona, aumenta la receptividad ganadera, en función de la dinámica de los procesos de erosión/deposición. De acuerdo a la relación entre la precipitación, la cubierta vegetal y la erosión, el desarrollo de las dunas aumentaría la riqueza (García *et al.*, 1993), la biomasa total y la biodiversidad.

La degradación antrópica, a través del fuego, la deforestación y el pastoreo excesivo, puede producir un retroceso de las sucesiones primarias o secundarias a través de los procesos de erosión (McTainsh y Strong, 2007) y salinización (Baoshan *et al.*, 2008), a nuevas situaciones de equilibrio dinámico (metaestable).

### CONCLUSIONES

Las características edáficas y microtopográficas definen la fisonomía de las zonas, observándose al menos cinco comunidades vegetales (Salina Vegetada, Llanos Inundables, Monte Con Influencia Salina, Monte con Escasa Influencia Salina y Dunas), cada una con características diferenciales.

Estas zonas pueden ser agrupadas y clasificadas en unidades de manejo ambiental mediante el uso de datos de abundancia-dominancia. Las "salinas", "llanos" y "altos" presentan diferentes potenciales desde el punto de vista productivo, por lo que es posible establecer diferentes estrategias de manejo y de conservación para cada unidad.

Los valores de receptividad ganadera, definidos por el método de Point Quadrat modificado, son consistentes con el índice de la biodiversidad y los valores de cobertura vegetal, los que podrían ser utilizados para determinar rápidamente la receptividad. El primero podría ser utilizado como indicador preliminar, mientras que la cobertura presenta una mayor fiabilidad estadística. Las variables edáficas también se asocian muy bien con la productividad de la vegetación medida como receptividad ganadera. Entre ellas, la conductividad eléctrica es la variable que explica la mayor parte de las diferencias entre zonas.

Las diferencias de abundancia y cobertura de las especies entre las comunidades son buenos indicadores de las diferencias edáficas, así como la presencia de ciertas especies clave, lo que permite establecer límites entre zonas.

Las fórmulas obtenidas (3.1 a 3.32 y 4.2) pueden ser útiles en otros ecosistemas salinos del mundo, con un previo ajuste y con la validación de los modelos.

Respecto a la fenología reproductiva, las fechas de ocurrencia de floración y fructificación son diferentes entre las zonas con altas y relativamente bajas concentraciones

de sales. La identificación de estas diferencias ayuda a la aplicación de toma de decisiones sobre el manejo en cada agrupamiento.

Sin embargo, no existen respuestas diferenciales de las especies frente a diferentes condiciones edáficas, es decir no se observaron diferencias en la fenología de aquellas especies generalistas en diferentes zonas. Esto indica que las respuestas de las plantas frente al aumento de la salinidad, y por lo tanto el aumento de retención de agua por parte del suelo, no son ambientales sino que tienen un componente genético adaptativo.

Las Quenopodiáceas, al presentar una floración más tardía y dependiente de la acumulación de agua en el suelo, permiten hipotetizar que han coevolucionado con el ambiente, permitiendo su reproducción y dispersión. Esta floración tardía permite alargar el período de disponibilidad de néctar y polen para un mejor aprovechamiento apícola.

Las Poáceas presentan una respuesta positiva frente a las lluvias en la fructificación, pero no en la floración, lo que hace pensar que para esto último existiría un estímulo de otra naturaleza, tal como temperatura o fotoperíodo. De esta forma, las Poáceas florecerían independientemente de la ocurrencia de las lluvias, de modo de poder aprovechar las lluvias posteriores haciendo coincidir el período crítico de llenado de fruto, favoreciendo la producción de semillas viables para la reproducción de estas especies y una adecuada resiembra natural.

Debido a la capacidad de almacenamiento y utilización del agua de los tejidos en las Cactáceas, éstas pueden florecer y fructificar independientemente de las lluvias. Estas especies se instalan en sectores con horizontes superficiales arenosos que permiten un mejor aprovechamiento del agua para la producción de frutos, que a pesar de no ser determinante para la ocurrencia de esta fenofase, permitiría obtener frutos de mejor calidad, tamaño y peso.

Las Fabáceas y Zigofiláceas poseerían estímulos para la floración aparentemente independientes de la presencia de agua edáfica. En estos casos, la presencia de la mayoría de las especies en áreas poco salinas, hacen que la retención del agua por el suelo no se vea

afectada mayormente por la salinidad, siendo los potenciales osmóticos despreciables. Sin embargo, es de destacar que en algunas especies de estas familias, al tener mayor distribución espacial, podrían tener algún efecto. En el caso de las Fabáceas, es importante que en la época de fructificación se produzcan lluvias para un correcto llenado de los frutos.

Las Asteráceas, presentes en zonas con alto contenido de sales solubles, poseen gran capacidad de producir flores y frutos en época seca sin necesidad de diluir previamente las sales. Esta particularidad constituye un caso muy interesante que merece ser estudiado más a fondo a nivel individual para observar cuales son los comportamientos particulares de cada especie considerada.

Los aspectos fenológicos en general merecen un estudio más detallado a nivel específico, teniendo en cuenta aspectos ecofisiológicos que no fueron abarcados en esta tesis.

La presencia de sales solubles en los suelos de zonas salinas reduce la capacidad de las plantas para absorber el agua mediante la reducción de su energía libre. Una menor energía libre disponible se traduce en una reducción de la riqueza y la biodiversidad. La biodiversidad puede ser calculada a través de la abundancia y la cobertura vegetal como aproximaciones de su biomasa total, y por lo tanto la energía acumulada en una comunidad. Mayor cobertura vegetal en una comunidad se traduce en mayores valores de exergía, representado por la energía almacenada en los tejidos vegetales. La exergía puede ser estimada a través de los exponentes de Lyapunov como una medida de la estabilidad del sistema. Este exponente permite medir las alteraciones en cualquier sitio visitado en el ecosistema, definiendo su distancia respecto a las condiciones de referencia, indicando las sucesiones primarias y secundarias. Los índices de diversidad biológica también pueden ser útiles para las sucesiones primarias, pero fallan en predecir las sucesiones secundarias.

Retrocesos en las sucesiones primarias están relacionados con el aumento de la salinidad, con la reducción del espesor de la capa superficial arenosa del suelo y el porcentaje de arenas en superficie. El retroceso en las sucesiones primarias y secundarias,

medido por un aumento de la conductividad eléctrica y en los exponentes de Lyapunov, se relaciona con la reducción de receptividad ganadera, y por lo tanto su potencial productivo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Ghani M. M. 1997. Phenology of ten common plants species in western Saudi Arabia. *Journal of Arid Environments* 35: 673-683.
- Abd El-Ghani M. M. and Amer W. M. 2003. Soil-vegetation relationships in a coastal desert plain of southern Sinai, Egypt. *Journal of Arid Environments* 55: 607-628.
- Abril A., Villagra P. and Noé L. 2009. Spatiotemporal heterogeneity of soil fertility in the Central Monte desert (Argentina). *Journal of Arid Environments* 73: 901-906.
- Álvarez Rogel J., Ortiz Silla R. and Alcaraz Ariza F. 2001. Edaphic characterization and soil ionic composition influencing plant zonation in a semiarid Mediterranean salt marsh. *Geoderma* 99: 81-98.
- Arnold R. W. 1968. Pedological significance of lithologic discontinuities. 9th International Congress of Soil Science Transactions IV: 595-603.
- Ball D. W. 2004. *Fisicoquímica*. International Thompson Editores, Mexico D.F., 836 pp.
- Baoshan C., Qiang H. and Xinsheng Z. 2008. Ecological thresholds of *Suaeda salsa* to the environmental gradients of water table depth and soil salinity. *Acta Ecologica Sinica* 28 (4): 1408-1418.
- Barrett G. 2006. Vegetation communities on the shores of a salt lake in semi-arid Western Australia. *Journal of Arid Environments* 67: 77-89.
- Begon M., Townsend C. R. and Harper J. L. 2006. *Ecology. From individuals to ecosystems*. Blackwell Publishing Ltd, UK, 746 pp.
- Braun-Blanquet J. 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Ed. Blume, Madrid, 820 pp.
- Buxbaum C. A. Z. and Vanderbilt K. 2007. Soil heterogeneity and the distribution of desert and steppe plant species across a desert-grassland ecotone. *Journal of Arid Environments* 69: 617-632.
- Cantero J. J., Cisneros J. M., Zobel M. and Cantero A. 1998a. Environmental relationships of vegetation patterns in saltmarshes of Central Argentina. *Folia Geobotanica* 33: 133-145.
- Cantero J. J., Leon R., Cisneros J. M. and Cantero A. 1998b. Habitat structure and vegetation relationships in central Argentina salt marsh landscapes. *Plant Ecology* 137: 79-100.
- Cañadas E. M., Jiménez M. N., Valle F., Fernandez-Ordoño E., Martín-Peinado, F. and Navarro F. B. 2010. Soil-vegetation relationships in semi-arid Mediterranean old fields (SE Spain): Implications for management. *Journal of Arid Environments* 74 (11): 1525-1533.
- Capitanelli R. G. 1979. Cap V. Geomorfología. En: *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Vázquez J. B., Miatello R. A. y Roqué M. E. (Coord.), Ed. Boldt. Córdoba, Argentina.

- Castro C. G y Forestello S. M. 2010. Sistemas de vida. Coirini R. O., Karlin M. S. y Reati G. (eds.). Manejo sustentable del ecosistema Salinas Grandes, Chaco Árido, Ed. Encuentro. Córdoba, Argentina, pp.: 27-34.
- Cavanna J., Castro G., Coirini R., Karlin U. y Karlin M. 2009. Caracterización socio-productiva de ocho comunidades de pequeños productores de las Salinas Grandes, Provincia de Catamarca, Argentina. *Multequina* 18: 15-29.
- Cavanna J., Castro G., Karlin U. y Karlin M. 2010. Ciclo ganadero y especies forrajeras en Salinas Grandes, Catamarca, Argentina. *Zonas Áridas* 14: 173-184. En prensa (ver ANEXO 8).
- Chadwick O. A., Kelly E. F., Merritts D. M. and Amundson R. G. 1994. Carbon dioxide consumption during soil development. *Biogeochemistry* 24: 115-127.
- Clements F. E. 1936. Nature and structure of the climax. *Journal of Ecology* 24: 252-284.
- Coirini R. O, Karlin M. S y Reati G. 2010. Manejo sustentable del ecosistema Salinas Grandes, Chaco Árido. Ed. Encuentro. Córdoba, Argentina.
- Conover W. J. 1999. *Practical nonparametric statistics*. John Wiley & Sons, US. 592 pp.
- Contreras A. M., Coirini R. O., Karlin M. S. y Ruiz Posse E. J.. 2010. Clima regional y local. Coirini R. O, Karlin M. S. y Reati G. (eds.). Manejo sustentable del ecosistema Salinas Grandes, Chaco Árido. Ed. Encuentro, pp.: 63-70
- Daget Ph. et Poissonet J. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies, critères d'application. *Annales Agronomiques* 22: 5-41.
- Dahnke W. C. and Whitney D. A. 1988. Measurement of Soil Salinity. En: *Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region*. Dahnke W. C. (ed.) North Dakota Agric. Exp. Stn. Bull, pp. 32-34.
- Dargám R. M. 1995. Geochemistry of waters and brines from the Salinas Grandes basin, Córdoba, Argentina. I. Geomorphology and hydrochemical characteristics. *International Journal of Salt Lake Resources* 3: 137-158.
- Di Rienzo J., Casanoves F., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C. y Balzarini M. 2007. Infostat. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Software estadístico.
- Flos J. 2005. El concepto de información en la ecología margalefiana. *Ecosistemas* 14 (1): 7-17.
- Fresnillo Fedorenko D. E., Fernández O. A., Busso C. A. and Elia O.E. 1996. Phenology of *Medicago mínima* and *Erodium cicutarium* in semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments* 33: 409-416.
- Friedel M. H., Nelson D. J., Sparrow A. D., Kinloch J. E. and Maconochie J. R. 1994. Flowering and fruiting of arid zone species of *Acacia* in central Australia. *Journal of Arid Environments* 27: 221-239.
- García L. V., Marañón T., Moreno A. and Clemente L. 1993. Above ground biomass and species richness in a Mediterranean saltmarsh. *Journal of Vegetation Science* 4: 417-424.
- Gutiérrez Elorza M. 2008. *Geomorfología*. Pearson - Prentice Hall, Madrid. 898 pp.



- Gutterman Y. 1991. Photoperiodic influences on the flowering time of the hysteroanthous geophyte *Sternbergia clausiana* population of the Negev Desert Highlands. *Journal of Arid Environments* 21: 31-35.
- Harper R. J. and Gilkes R. J. 2004. Aeolian influences on the soils and landforms of the southern Yilgarn Craton of semi-arid, southwestern Australia. *Geomorphology* 54: 215-235.
- Huenneke L. F., Anderson J. P., Remenga M. and Schlesinger W. L. 2002. Desertification alters patterns of aboveground net primary production in Chihuahuan ecosystems. *Global Change Biology* 8: 247-264.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. 130 pp.
- Jørgensen S. E and Svirezhev Y. M. 2004. Towards a thermodynamic theory for ecological systems. Elsevier Ltd, Amsterdam. 366 pp.
- Justus J. 2008. Ecological and Lyapunov stability. *Philosophy of Science* 75: 421-436.
- Karlin M. S., Coirini R., Contreras A. y Buffa E. 2009. Biodiversidad y potencialidad silvopastoril de cerramientos en diferentes ambientes en las Salinas Grandes, Provincia de Catamarca (Argentina). *Actas del I Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles, Posadas, Misiones*, pp. 85-92.
- Labraga J. C. y Villalba R. 2009. Climate in Monte Desert: past trends, present conditions, and future projections. *Journal of Arid Environments* 73: 154-163.
- Ledesma N. R. 1953. Registro Fitofenológico General. *Meteoros: Revista de meteorología y geofísica* 3 (1): 81-97.
- Levy B. and Madden E. 1933. The point method of pasture analysis. *New Zealand Journal of Agriculture* 46: 267-279.
- MAPEAR. Mapas electrónicos Argentinos. 2009. Proyecto MAPEAR. V 9.00. Disponible en <http://www.proyectomapear.com.ar>. Activo junio 2010.
- Margalef R. 1956. Información y diversidad específica en las comunidades de organismos. *Investigaciones Pesqueras* 3: 99-106.
- Margalef R. 1963. On certain unifying principles in ecology. *The American Naturalist* 897 (XCVII): 357-374.
- Martín G. O., Nicosia M. G. y Lagomarsino E. D. 1993. Rol forrajero y ecológico de leñosas nativas del NOA. En: XIV Reunión del grupo técnico regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical. Grupo Chaco, Santiago del Estero.
- McTainsh G. and Strong C. 2007. The role of aeolian dust in ecosystems. *Geomorphology* 89: 39-54.
- Méndez E. 1993. Dinamismo de la vegetación en la Pampa Amarilla, San Rafael, Mendoza. *Multequina* 1: 73-81.
- Mengel K. and Kirkby E. A. 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. Bern, Switzerland. 685 pp.

- Miró R. C., Gaido M. F. Candiani J. C. y Aimar C. 2005. Hoja geológica de Recreo (2966-IV). Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Naturales. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- Mueller-Dombois D. and Ellenberg H. 1974. *Aims & methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, US. 547 pp.
- Odum E. P. 1972. *Ecología*. McGraw-Hill, Mexico D.F. 639 pp.
- Oesterheld M., Aguiar M. R., Ghersa C. M. y Paruelo J. M. 2005. La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Universidad de Buenos Aires. 430 pp.
- Olf H., Huisman J. and Van Tooren B. F. 1993. Species dynamics and nutrient accumulation during early primary succession in coastal sand dunes. *Journal of Ecology* 81: 693-706.
- Park G. N. 1970. Concepts in vegetation/soil system dynamics – I. Stability, climax, maturity and steady state. *Tuatara* 18 (3): 132-142.
- Passera C. B. y Borsetto, O. 1986. Determinación del Índice de Calidad Específico. En: Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas (ed. Subcomité Asesor del Árido Subtropical Argentino), Orientación Gráfica, Buenos Aires, pp. 80-89.
- Passera C. B., Dalmasso A. D. y Borsetto O. 1986. Método de Point Quadrat modificado. En: Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas (ed. Subcomité Asesor del Árido Subtropical Argentino), Orientación Gráfica, Buenos Aires, pp. 71-79.
- Patten B. C. 1959. An introduction to the cybernetics of the ecosystem: The trophic-dynamic aspect. *Ecology* 40 (2): 221-231.
- Pavón N. P. and Briones O. 2001. Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 49: 265-77.
- Pérez González M. E., García Rodríguez M. P., González-Quiñones V. and Jiménez Ballesta R. 2006. Spatial variability of soil quality in the surroundings of a saline lake environment. *Environmental Geology* 51 (1), 143-149.
- Petit S. 2001. The reproductive phenology of three sympatric species of columnar cacti on Curaçao. *Journal of Arid Environments* 49: 521-531.
- Phillips J. 1935. Succession, development, the climax, and the complex organism: an analysis of concepts: part II. Development and the climax. *Journal of Ecology* 23 (1): 210-246.
- Ragonese A. E. 1951. La vegetación de la República Argentina. II. - Estudio fitosociológico de las Salinas Grandes. *Revista de Investigaciones Agrícolas* 5(1-2): 1-233.
- Rawls W. J., Brakensiek D. L. and Saxton K. E. 1982. Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE* 25 (5): 1316-1320.
- Reitemeier R. F. 1946. Effect of moisture content on the dissolved and exchangeable ions of soils of arid regions. *Soil Science* 61 (3): 195-214.
- Richards C. L., White S. N., McGuire M. A., Franks S. J., Donovan L. A. and Mauricio R. 2010. Plasticity, not adaptation to salt level, explains variation along a salinity gradient in a salt marsh perennial. *Estuaries and Coasts* 33 (4): 840-852.

- Richards L. A. (Ed.). 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Sodic Soils*. USDA, Washington DC. 159 pp.
- Roig F. A. 1973. El cuadro fitosociológico en el estudio de la vegetación. *Contribuciones del Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas*. Deserta 4: 45- 67.
- Roxburgh S. H., Shea K. and Wilson J. B. 2004. The intermediate disturbance hypothesis: patch dynamics and mechanisms of species coexistence. *Ecology* 85 (2): 359-371.
- Ruiz Posse E., Karlin U. O. Buffa E., Karlin M., Gai Levra C. y Castro G. 2007. *Ambientes de las Salinas Grandes de Catamarca, Argentina*. *Multequina* 16: 123-37.
- Sayre R., Roca E., Sedaghatkish G., Young B., Keel S., Roca R. and Sheppard S. 2000. *Nature in focus: Rapid Ecological Assessment*. The Nature Conservancy. Island Press. Washington, US.
- Shafi M. I. and Yarranton G. A. 1973. Diversity, floristic richness, and species evenness during a secondary (post-fire) succession. *Ecology* 54 (4): 897-902.
- Shaltout K. H. and Al-Sodany Y. M. 2008. Vegetation analysis of Burullus Wetland: a RAMSAR site in Egypt. *Wetlands Ecological Management* 16: 421-439.
- Sherwin W. B. 2010. Entropy and information approaches to genetic diversity and its expression: genomic geography. *Entropy* 12: 1765-1798.
- Sívori E. M. y Ragonese A. E. 1952. Valores osmóticos en plantas de las Salinas Grandes. *Revista de Investigaciones Agrícolas* 6 (2): 275-80.
- Soil Survey Staff. 2010. *Keys to soil taxonomy*. USDA-NRCS. 11th ed. US. 939 pp.
- Steyn H. M., van Rooyen N., van Rooyen M. W. and Theron G. K. 1996. The phenology of Namaqualand ephemeral species. The effect of water stress. *Journal of Arid Environments* 33: 49-62.
- Stone L. and Ezrati S. 1996. Chaos, cycles and Spatiotemporal Dynamics in Plant Ecology. *Journal of Ecology* 84 (2): 279-291.
- Syed M. A. R., Shahida H., Shamsi R. A. and Farkhanda J. 2011. The phytosociological analysis of saline area of Tehsil Ferozewala, District Sheikhpura (Punjab), Pakistan. *African Journal of Environmental Science and Technology* 5 (4): 316-326.
- Tilman D. 1996. Biodiversity: population versus ecosystem stability. *Ecology* 77 (2): 350-363.
- Vázquez P., Costa J., Monterubbianesi G. y Godz P. 2001. Predicción de la productividad primaria de pastizales naturales de la Pampa Deprimida utilizando propiedades del horizonte A. *Ciencia del Suelo* 19 (2), 136-43.
- Walker L. R. 2005. Margalef y la sucesión ecológica. *Ecosistemas* 14 (1): 66-78.
- Watt A. S. 1947. Patterns and process in the plant community. *Journal of Ecology* 35 (1/2): 1-22.
- Whitford W. G. 2002. *Ecology of desert systems*. Academic Press, New York. 343 pp.
- Wikum D. A. and Shanholtzer G. F. 1978. Application of the Braun-Blanquet Cover-Abundance Scale for vegetation analysis in land development studies. *Environmental Management* 2 (4): 323-9.

- Yechieli, Y and Wood W. W. 2002. Hydrogeologic processes in saline systems: playas, sabkhas, and saline lakes. *Earth-Science Review* 58 (3-4): 343-365.
- Yolcubal I., Brusseau M. L., Artiola J. F., Wierenga P. and Wilson L. G. 2004. Environmental physical properties and processes. En: *Environmental monitoring and characterization*. Artiola J., Pepper I., Brusseau M. (eds.), Academic Press, San Diego, CA. pp. 207-239.
- Zamora E. M. 1990. Cartografía, génesis y clasificación de los suelos del Noroeste de la Provincia de Córdoba. Tesis doctoral. Mimeo. Córdoba, Argentina. 174 pp.

**ANEXO 1**  
**Población por grupo etario y número de familias por paraje en  
el área de estudio**

ANEXO 1: Población por grupo etario y número de familias por paraje en el área de estudio.

<b>Paraje o Localidad</b>	<b>Niños (0-14 años)</b>	<b>Jóvenes y adultos (14-65 años)</b>	<b>Ancianos (más de 65 años)</b>	<b>Nº de familias</b>	<b>Población total</b>
Palo Santo	1	17	2	7	20
El Quimilo	23	39	6	16	68
San Isidro	11	13	3	6	27
San Agustín	8	12	2	5	22
San Vicente	3	2	2	2	7
El Chaguaral	6	13	-	4	19
La Lata	-	7	-	2	7
La Florida	2	3	-	1	5
Pozo de la orilla	-	2	-	1	2
El Clérigo-Pozo Verde	8	22	-	11	30
El Garay	14	18	3	7	35
La Zanja	3	12	2	5	17
El Puente	5	4	-	3	10
Km 969	29	51	5	21	85
La Horqueta	8	15	7	6	30
La Antigua	-	2	1	1	3
San Miguel	-	-	2	1	2
El Bosquecillo	13	37	-	11	50
Casa de Piedra	S/D	S/D	S/D	40	172
San Salvador	6	12	-	6	18
San Lorenzo	6	15	-	5	21
San José	5	4	1	4	10
Pozo Escondido	5	4	3	2	12
Santa Elena	27	14		5	41
Los Chañares Largos	-	3	2	2	5
El Silo	22	22	-	6	44
<b>Totales</b>	<b>205</b>	<b>341</b>	<b>41</b>	<b>180</b>	<b>759</b>

Fuente: Castro y Forestello, 2010.

**ANEXO 2**  
**Imágenes de las zonas identificadas**



A2.1: Salinas.



A2.2: Salina vegetada.





A2.3: Llanos inundables.



A2.4: Monte con influencia salina.





A2.5: Duna.



A2.6: Monte con escasa influencia salina.

**ANEXO 3**  
**Listado de especies encontradas en el área de estudio**

ANEXO 3: Listado de especies encontradas en el área de estudio.

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Observaciones</b>
<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	Agaricaceae	
<i>Cheilanthes</i> sp.	Pteridaceae	
<i>Sellaginella sellowii</i> Hieron.	Selaginellaceae	
<i>Ephedra triandra</i> Tul. emend. J.H. Hunz.	Ephedraceae	
<i>Amelichloa brachychaeta</i> (Godr.) Arriaga & Barkworth	Poaceae	Ex <i>Stipa brachychaeta</i>
<i>Aristida adscensionis</i> L.	Poaceae	
<i>Aristida mendocina</i> Phil.	Poaceae	
<i>Bouteloua aristidoides</i> (HBK) Griseb.	Poaceae	
<i>Cenchrus myosuroides</i> Kunth	Poaceae	
<i>Chloris ciliata</i> Sw.	Poaceae	
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers. var. <i>dactylon</i>	Poaceae	
<i>Digitaria californica</i> (Benth.) Henrard	Poaceae	
<i>Eragrostis cilianensis</i> (All.) Vignolo ex Janch.	Poaceae	
<i>Eustachys retusa</i> (Lag.) Kunth	Poaceae	Ex <i>Chloris retusa</i>
<i>Gouinia paraguariensis</i> (Kuntze) Parodi	Poaceae	
<i>Jarava polyclada</i> (Hack.) Peñailillo	Poaceae	Ex <i>Stipa polyclada</i>
<i>Leptochloa dubia</i> (Kunth) Nees	Poaceae	Ex <i>Diplachne dubia</i>
<i>Distichlis acerosa</i> (Griseb.) H.L. Bell & Columbus	Poaceae	Ex <i>Monantochloe acerosa</i>
<i>Neobouteloua lophostachia</i> (Griseb.) Gould	Poaceae	
<i>Pappophorum caespitosum</i> R.E.Fr.	Poaceae	
<i>Pappophorum phillipianum</i> Parodi	Poaceae	
<i>Pappophorum subbulbosum</i> Arechav.	Poaceae	
<i>Setaria cordobensis</i> R.A.W. Herrm.	Poaceae	
<i>Setaria lachnea</i> (Nees) Kunth	Poaceae	
<i>Setaria leucopila</i> (Scribn. & Merr.) K. Schum.	Poaceae	
<i>Sporobolus phleoides</i> Hack.	Poaceae	
<i>Sporobolus pyramidatus</i> (Lam.) Hitchc.	Poaceae	
<i>Trichloris crinita</i> (Lag.) Parodi	Poaceae	
<i>Trichloris pluriflora</i> E. Fourn.	Poaceae	
<i>Bromelia urbaniana</i> (Mez) L.B. Sm.	Bromeliaceae	
<i>Dyckia floribunda</i> Griseb. var. <i>floribunda</i>	Bromeliaceae	Ex <i>D. chaguar</i>
<i>Tillandsia capillaris</i> Ruiz & Pav. f. <i>capillaris</i>	Bromeliaceae	
<i>Tillandsia capillaris</i> Ruiz & Pav. f. <i>cordobensis</i>	Bromeliaceae	Ex <i>T. cordobensis</i>
<i>Tillandsia capillaris</i> Ruiz & Pav. f. <i>hyeronimii</i>	Bromeliaceae	Ex <i>T. hieronimii</i>
<i>Tillandsia duratii</i> Vis. var. <i>duratii</i>	Bromeliaceae	
<i>Tillandsia rectangula</i> Baker	Bromeliaceae	
<i>Tillandsia xiphioides</i> Ker Gawl. var. <i>xiphioides</i>	Bromeliaceae	
<i>Commelina erecta</i> L.	Commelinaceae	
<i>Tradescantia fluminensis</i> Vell.	Commelinaceae	
<i>Zephyranthes mesochloa</i> Herb. ex Lindl.	Amaryllidaceae	
<i>Celtis ehrenbergiana</i> (Klotzsch) Liebm.	Celtidaceae	

ANEXO 3 (cont.): Listado de especies encontradas en el área de estudio.

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Observaciones</b>
<i>Ximenia americana</i> L.	Ximeniaceae	Ex Olacaceae
<i>Jodina rhombifolia</i> (Hook. & Arn.) Reissek	Cervantesiaceae	Ex Santalaceae
<i>Ligaria cuneifolia</i> (Ruiz & Pav.) Tiegh.	Loranthaceae	
<i>Sthruanthus uraguensis</i> (Hook. & Arn.) G. Don	Loranthaceae	
<i>Phoradendron bathyoryctum</i> Eichler	Viscaceae	Ex Loranthaceae
<i>Aristolochia argentina</i> Griseb.	Aristolochiaceae	
<i>Prosopanche americana</i> (R. Br.) Baill.	Hydnoraceae	
<i>Allenrolfea patagonica</i> (Moq.) Kuntze	Chenopodiaceae	
<i>Allenrolfea vaginata</i> (Griseb.) Kuntze	Chenopodiaceae	
<i>Atriplex argentina</i> Speg.	Chenopodiaceae	
<i>Atriplex cordubensis</i> Gand. & Stuck.	Chenopodiaceae	
<i>Heterostachys ritteriana</i> (Moq.) Ung.-Sternb.	Chenopodiaceae	
<i>Sarcocornia perennis</i> (Mill.) A.J.Scott	Chenopodiaceae	
<i>Suaeda divaricata</i> Moq.	Chenopodiaceae	
<i>Alternanthera nodifera</i> (Moq.) Griseb.	Amaranthaceae	
<i>Amaranthus hybridus</i> L. spp. <i>Hybridus</i>	Amaranthaceae	
<i>Amaranthus muricatus</i> (Moq.) Hieron.	Amaranthaceae	
<i>Amaranthus standleyanus</i> Parodi ex Covas	Amaranthaceae	
<i>Gomphrena martiana</i> Gillies ex Moq. var. <i>martiana</i>	Amaranthaceae	
<i>Boerhavia diffusa</i> L.	Nyctaginaceae	
<i>Bougainvillea spinosa</i> (Cav.) Heimerl	Nyctaginaceae	Ex <i>Trycicla spinosa</i>
<i>Sesuvium portulacastrum</i> (L.) L.	Aizoaceae	
<i>Portulaca confertifolia</i> Hauman	Portulacaceae	
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook.	Portulacaceae	
<i>Portulaca oleacea</i> L.	Portulacaceae	
<i>Portulaca ragonesei</i> D. Legrand	Portulacaceae	
<i>Talinum paniculatum</i> (Jacq.) Gaertn.	Talinaceae	Ex Portulacaceae
<i>Talinum poligaloides</i> Gillies ex Arn.	Talinaceae	Ex Portulacaceae
<i>Grahamia bracteata</i> Hook. & Arn.	Anacamserotaceae	Ex Portulacaceae
<i>Tamarix ramossissima</i> Ledeb.	Tamaricaceae	
<i>Clematis montevidensis</i> Spreng. var. <i>montevidensis</i>	Ranunculaceae	
<i>Argemone subfusiformis</i> G.B. Ownbey	Papaveraceae	
<i>Capparis atamisquea</i> Kuntze	Capparaceae	Ex Capparidaceae
<i>Acacia aroma</i> Gillies ex Hook. & Arn.	Fabaceae	
<i>Acacia caven</i> (Mol.) Molina	Fabaceae	
<i>Acacia gilliesii</i> Steud.	Fabaceae	Ex <i>A. furcatispina</i>
<i>Acacia praecox</i> Griseb	Fabaceae	
<i>Caesalpinia gilliesii</i> (Wall. ex Hook.) D. Dietr.	Fabaceae	
<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms spp. <i>praecox</i>	Fabaceae	

ANEXO 3 (cont.): Listado de especies encontradas en el área de estudio.

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Observaciones</b>
<i>Geoffroea decorticans</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart	Fabaceae	
<i>Hoffmannseggia glauca</i> (Ortega) Eifert	Fabaceae	
<i>Mimosa detinens</i> Benth.	Fabaceae	
<i>Mimozyanthus carinatus</i> (Griseb.) Burkart†	Fabaceae	
<i>Prosopis abbreviata</i> Benth.	Fabaceae	
<i>Prosopis chilensis</i> (Molina) Stuntz emend. Burkart	Fabaceae	
<i>Prosopis flexuosa</i> DC	Fabaceae	
<i>Prosopis nigra</i> (Griseb.) Hieron.	Fabaceae	
<i>Prosopis pugionata</i> Burkart	Fabaceae	
<i>Prosopis reptans</i> Benth.	Fabaceae	
<i>Prosopis sericantha</i> Gillies ex Hook. & Arn.	Fabaceae	
<i>Prosopis strombulifera</i> (Lam.) Benth	Fabaceae	
<i>Prosopis torquata</i> (Cav. ex Lag.) DC	Fabaceae	
<i>Senna acanthoclada</i> (Griseb.) H.S. Irwin & Barneby	Fabaceae	
<i>Senna aphylla</i> (Cav.) H.S. Irwin & Barneby	Fabaceae	
<i>Stenodrepanum bergii</i> Harms	Fabaceae	
<i>Bulnesia bonariensis</i> Griseb.	Zyghophyllaceae	
<i>Bulnesia foliosa</i> Griseb.	Zyghophyllaceae	
<i>Bulnesia retama</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Griseb.	Zyghophyllaceae	
<i>Larrea cuneifolia</i> Cav.	Zyghophyllaceae	
<i>Larrea divaricata</i> Cav.	Zyghophyllaceae	
<i>Plectrocarpa tetracantha</i> Gillies ex Hook. & Arn.†	Zyghophyllaceae	
<i>Porlieria microphylla</i> (Baill.) Descole, O'Donell & Lourteig	Zyghophyllaceae	
<i>Tribulus terrestris</i> L.	Zyghophyllaceae	
<i>Castela coccinea</i> Griseb.	Simarubaceae	
<i>Cordobia argentea</i> (Griseb.) Nied.	Malpighiaceae	
<i>Tricomaria usillo</i> Hook. & Arn.	Malpighiaceae	
<i>Euphorbia</i> sp.	Euphorbiaceae	
<i>Jatropha excisa</i> Griseb.	Euphorbiaceae	
<i>Schinopsis lorentzii</i> (Griseb.) Engl.	Anacardiaceae	
<i>Schinus polygamus</i> (Cav.) Cabrera var. <i>polygamus</i>	Anacardiaceae	
<i>Maytenus vitis-idaea</i> Griseb.	Celastraceae	
<i>Moya spinosa</i> (Griseb.)	Celastraceae	Ex <i>Maytenus spinosa</i>
<i>Urvillea chacoensis</i> Hunz.	Sapindaceae	
<i>Condalia microphylla</i> Cav.	Rhamnaceae	
<i>Zizyphus mistol</i> Griseb.	Rhamnaceae	
<i>Gaya parviflora</i> (Phil.) Krapov.	Malvaceae	
<i>Sphaeralcea cordobensis</i> Krapov.	Malvaceae	
<i>Ayenia cordobensis</i> (Hieron.) Hieron.	Sterculiaceae	

ANEXO 3 (cont.): Listado de especies encontradas en el área de estudio.

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Observaciones</b>
<i>Passiflora caerulea</i> L.	Passifloraceae	
<i>Passiflora palmatisecta</i> Mast.	Passifloraceae	
<i>Cereus aethiops</i> Haw.	Cactaceae	
<i>Cereus forbesii</i> Otto ex C.F. Först.	Cactaceae	
<i>Cleistocactus baumani</i> (Lem.) Lem.	Cactaceae	
<i>Echinopsis leucantha</i> (Gillies ex Salm-Dyck) Walp.	Cactaceae	
<i>Gymnocalycium delaetii</i> (K. Schum.) Hosseus	Cactaceae	
<i>Gymnocalycium ragonesei</i> A. Cast.	Cactaceae	
<i>Gymnocalycium schikendanzii</i> (F.A.C. Weber) Britton & Rose	Cactaceae	
<i>Gymnocalycium stellatum</i> Speg.	Cactaceae	
<i>Harrisia pomanensis</i> (F.A.C. Weber ex K. Schum.) Britton & Rose	Cactaceae	
<i>Maihueniopsis glomerata</i>	Cactaceae	
<i>Monvillea spegazzinii</i> (F.A.C. Weber) Britton & Rose	Cactaceae	
<i>Opuntia quimilo</i> K. Schum.	Cactaceae	
<i>Opuntia sulphurea</i> Gillies ex Salm-Dyck	Cactaceae	
<i>Pterocactus tuberosus</i> (Pfeiff.) Britton & Rose	Cactaceae	
<i>Setiechinopsis mirabilis</i> (Speg.) de Haas	Cactaceae	
<i>Stetsonia coryne</i> (Salm-Dyck) Britton & Rose	Cactaceae	
<i>Tephrocactus articulatus</i> (Pfeiff.) Backeb. var <i>articulatus</i>	Cactaceae	
<i>Tephrocactus weberi</i> (Speg.) Backeb. var. <i>weberii</i>	Cactaceae	
<i>Trichocereus huascha</i> (F.A.C. Weber) Britton & Rose	Cactaceae	
<i>Ammi visnaga</i> (L.) Lam.	Apiaceae	
<i>Aspidosperma quebracho blanco</i> Schldl.	Apocynaceae	
<i>Vallesia glabra</i> (Cav.) Link	Apocynaceae	
<i>Morrenia brachystephana</i> Griseb.	Asclepiadaceae	
<i>Morrenia odorata</i> (Hook. & Arn.) Lindl.	Asclepiadaceae	
<i>Twedia brunonis</i> Hook. & Arn.	Asclepiadaceae	
<i>Cressa nudicaulis</i> Griseb.	Convolvulaceae	
<i>Ipomoea stuckertii</i> O'Donell	Convolvulaceae	
<i>Erhetia cortesía</i> Gottschling	Boraginaceae	
<i>Heliotropium curassavicum</i> L. var <i>argentinum</i>	Boraginaceae	
<i>Heliotropium johnstonii</i> Ragonese	Boraginaceae	
<i>Nama undulata</i> Kunth	Boraginaceae	
<i>Aloysia gratissima</i> (Gillies & Hook. ex Hook.) Tronc. var. <i>gratissima</i>	Verbenaceae	
<i>Lippia salsa</i> Griseb.	Verbenaceae	
<i>Lippia turbinata</i> Griseb.	Verbenaceae	
<i>Pitraea cuneato-ovata</i> (Cav.) Caro	Verbenaceae	
<i>Capsicum baccatum</i> L. var. <i>baccatum</i>	Solanaceae	

ANEXO 3 (cont.): Listado de especies encontradas en el área de estudio.

<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Observaciones</b>
<i>Lycium boerhaviaefolium</i> L. f.	Solanaceae	Ex <i>Grabowskia duplicata</i>
<i>Lycium chilense</i> Miers ex Bertero var. <i>chilense</i>	Solanaceae	
<i>Lycium ciliatum</i> Schltld.	Solanaceae	
<i>Lycium elongatum</i> Miers	Solanaceae	
<i>Lycium infaustum</i> Miers	Solanaceae	
<i>Lycium tenuispinosum</i> Miers var <i>tenuispinosum</i>	Solanaceae	
<i>Nicotiana glauca</i> Graham	Solanaceae	
<i>Solanum argentinum</i> Bitter & Lillo	Solanaceae	
<i>Solanum eleagnifolium</i> Cav.	Solanaceae	
<i>Amphilophium cynanchoides</i> (DC.) L.G. Lohmann	Bignoniaceae	Ex <i>Pithecoctenium cynanchoides</i>
<i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb.) Griseb.	Bignoniaceae	
<i>Ibicella parodii</i> Abbiatti	Martyniaceae	
<i>Justicia gilliesii</i> (Nees) Benth.	Acanthaceae	
<i>Justicia xylosteoides</i> Griseb.	Acanthaceae	
<i>Cucurbitella asperata</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Walp.	Cucurbitaceae	
<i>Halosycios ragonesei</i> Mart. Crov.	Cucurbitaceae	
<i>Cyclolepis genistoides</i> D. Don	Asteraceae	
<i>Mikania cordifolia</i> (L. f.) Willd.	Asteraceae	
<i>Tessaria dodonaeifolia</i> (Hook. & Arn.) Cabrera	Asteraceae	



**ANEXO 4**  
**Tabla de especies relevadas desde el punto de vista fenológico**

ANEXO 4: Listado de especies relevadas desde el punto de vista fenológico.

Espece	Familia	Espece	Familia
<i>Acacia aroma</i>	Fabaceae	<i>Cordobia argentea</i>	Malpighiaceae
<i>Acacia gilliesii</i>	Fabaceae	<i>Cressa nudicaulis</i>	Convolvulaceae
<i>Acacia praecox</i>	Fabaceae	<i>Cucurbitella asperata</i>	Cucurbitaceae
<i>Allenrolfea patagonica</i>	Chenopodiaceae	<i>Cyclolepis genistoides</i>	Asteraceae
<i>Aloysia gratissima</i>	Verbenaceae	<i>Digitaria californica</i>	Poaceae
<i>Alternanthera nodifera</i>	Amaranthaceae	<i>Distichlis acerosa</i>	Poaceae
<i>Amphilophium cynanchoides</i>	Bignoniaceae	<i>Echinopsis leucantha</i>	Cactaceae
<i>Aristida mendocina</i>	Poaceae	<i>Erhetia cortesia</i>	Boraginaceae
<i>Aristolochia argentina</i>	Aristolochiaceae	<i>Geoffroea decorticans</i>	Fabaceae
<i>Aspidosperma quebracho blanco</i>	Apocinaceae	<i>Gonphrena martiana</i>	Amaranthaceae
<i>Atriplex argentina</i>	Chenopodiaceae	<i>Gouinia paraguariensis</i>	Poaceae
<i>Boehrvia diffusa</i>	Nyctaginaceae	<i>Grahamia bracteata</i>	Portulacaceae
<i>Bougainvillea spinosa</i>	Nyctaginaceae	<i>Gymnocalycium delaetti</i>	Cactaceae
<i>Bouteloua aristidoides</i>	Poaceae	<i>Gymnocalycium ragonesei</i>	Cactaceae
<i>Bulnesia bonaerensis</i>	Zygophilaceae	<i>Gymnocalycium schickendanzii</i>	Cactaceae
<i>Bulnesia foliosa</i>	Zygophilaceae	<i>Gymnocalycium stellatum</i>	Cactaceae
<i>Bulnesia retama</i>	Zygophilaceae	<i>Harrisia pomanensis</i>	Cactaceae
<i>Capparis atamisquea</i>	Capparidaceae	<i>Heliotropium johnstonii</i>	Boraginaceae
<i>Capsicum baccatum</i>	Solanaceae	<i>Heterostachys Ritteriana</i>	Chenopodiaceae
<i>Castela coccinea</i>	Simaroubaceae	<i>Ipomoea struckertii</i>	Convolvulaceae
<i>Cenchrus ciliaris</i>	Poaceae	<i>Jatropha excisa</i>	Euphorbiaceae
<i>Cercidium praecox</i>	Fabaceae	<i>Justicia gilliesii</i>	Acanthaceae
<i>Cereus aethiops</i>	Cactaceae	<i>Justicia xylostioides</i>	Acanthaceae
<i>Cereus forbesii</i>	Cactaceae	<i>Larrea cuneifolia</i>	Zygophilaceae
<i>Chloris ciliate</i>	Poaceae	<i>Larrea divaricata</i>	Zygophilaceae
<i>Cleistocactus baumanii</i>	Cactaceae	<i>Ligaria cuneifolia</i>	Loranthaceae
<i>Clematis montevidensis</i>	Ranunculaceae	<i>Lippia salsa</i>	Verbenaceae
<i>Commelina erecta</i>	Commelinaceae	<i>Lippia turbinata</i>	Verbenaceae
<i>Condalia microphylla</i>	Ramnaceae	<i>Lycium boerhaviaefolium</i>	Solanaceae

ANEXO 4 (cont.): Listado de especies relevadas desde el punto de vista fenológico.

Espece	Familia	Espece	Familia
<i>Lycium spp.</i>	Solanaceae	<i>Senna acanthoclada</i>	Fabaceae
<i>Maytenus vitis-idaea</i>	Celastraceae	<i>Senna aphylla</i>	Fabaceae
<i>Mimosa detinens</i>	Fabaceae	<i>Setaria leucopila</i>	Poaceae
<i>Mimozyanthus carinatus</i>	Fabaceae	<i>Solanum eleagnifolium</i>	Solanaceae
<i>Monvillea spegazzinii</i>	Cactaceae	<i>Sporobolus phleoides</i>	Poaceae
<i>Morrenia odorata</i>	Asclepiadaceae	<i>Sporobolus pyramidatus</i>	Poaceae
<i>Moya spinosa</i>	Celastraceae	<i>Stetsonia coryne</i>	Cactaceae
<i>Neobouteloua lophostachya</i>	Poaceae	<i>Sthruanthus angustifolius</i>	Loranthaceae
<i>Opuntia ficus-indica</i>	Cactaceae	<i>Suaeda divaricata</i>	Chenopodiaceae
<i>Opuntia quimilo</i>	Cactaceae	<i>Tabebuia nodosa</i>	Bignoniaceae
<i>Opuntia sulphurea</i>	Cactaceae	<i>Talinum polygaloides</i>	Portulacaceae
<i>Pappofozum subbulbosum</i>	Poaceae	<i>Tamarix ramosissima</i>	Tamaricaceae
<i>Passiflora caerulea</i>	Passifloraceae	<i>Tephocactus articulatus</i>	Cactaceae
<i>Phoradendron bathoryoctum</i>	Viscaceae	<i>Tessaria dodonaeifolia</i>	Asteraceae
<i>Plectocarpa tetraacantha</i>	Zygophylaceae	<i>Tillandsia capillaris</i> var. <i>cordobensis</i>	Bromeliaceae
<i>Portulaca grandiflora</i>	Portulacaceae	<i>Tillandsia durantii</i>	Bromeliaceae
<i>Portulaca oleracea</i>	Portulacaceae	<i>Tillandsia capillaris</i> var. <i>hieronimii</i>	Bromeliaceae
<i>Prosopanche americana</i>	Hydnoraceae	<i>Tillandsia rectangula</i>	Bromeliaceae
<i>Prosopis abbreviata</i>	Fabaceae	<i>Tillandsia xiphioides</i>	Bromeliaceae
<i>Prosopis chilensis</i>	Fabaceae	<i>Tribulus terrestris</i>	Zygophylaceae
<i>Prosopis flexuosa</i>	Fabaceae	<i>Trichoris crinita</i>	Poaceae
<i>Prosopis nigra</i>	Fabaceae	<i>Trichloris pluriflora</i>	Poaceae
<i>Prosopis reptans</i>	Fabaceae	<i>Tricomaria usillo</i>	Malpighiaceae
<i>Prosopis sericantha</i>	Fabaceae	<i>Twedia brunnonis</i>	Asclepiadaceae
<i>Prosopis torquata</i>	Fabaceae	<i>Ximena americana</i>	Ximenaceae
<i>Salicornia perennis</i>	Chenopodiaceae	<i>Zephyranthes mesochloa</i>	Amarillidaceae
<i>Schinopsis lorentzii</i>	Anacardiaceae	<i>Zizyphus mistol</i>	Ramnaceae

**ANEXO 5**  
**Tabla síntesis de variables edáficas**

ANEXO 5: Tabla síntesis de variables edáficas por sitio relevado.

Sitio	Hz	Zona	LS (cm)	LI (cm)	CEs 1:1 (dS/m)	CEh 1:1 (dS/m)	pHs 1:1	pHh 1:1	Arenas (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Dap <sup>3</sup> (Mg/m <sup>3</sup> )
267	A1 <sub>z</sub>	SV	0	5	57,2	48,1	7,54	7,65	33,0	2,5	1,44
267	A2 <sub>kz</sub>	SV	5	12	43,8	46,2	7,95	7,89	23,5	4,0	1,45
267	B1 <sub>kz</sub>	SV	12	20	44,0	49,6	8,04	7,86			
267	B2 <sub>kz</sub>	SV	20	+	41,6	47,1	7,98	8,1			
052	A1 <sub>kz</sub>	SV	0	5	91,8	64,8	7,73	8,09	13,5	3,5	1,41
052	A2 <sub>kz</sub>	SV	5	+	77,6	63,9	7,88	7,83	14,8	2,5	1,35
272	I <sub>kz</sub>	SV	0	3	237	64,4	7,3	7,87	20,8	4,0	1,42
272	II <sub>kz</sub>	SV	3	13	53,3	39,3	7,76	8,3	9,90	4,5	1,59
272	III <sub>kz</sub>	SV	13	27	68,3	57,5	7,76	7,93			
162	I <sub>z</sub>	SV	0	8	52,2	79,6	7,97	7,54	45,6	1,0	1,32
162	II <sub>z</sub>	SV	8	+	16,0	19,8	8,75	7,89	44,0	2,0	1,42
I129	A1 <sub>z</sub>	SV	0	6	27,9	29,4	7,53		30,8	1,5	
I129	A2 <sub>z</sub>	SV	6	24	19,2	93,6	7,8		24,3	2,5	
I129	B1 <sub>kz</sub>	SV	24	39	38,9	78,4	7,78				
I129	II <sub>z</sub>	SV	39	+		72,8					
330	I <sub>z</sub>	SV	0	7	126	58,2	7,01	7,98	41,4	2,0	1,54
330	II <sub>z</sub>	SV	7	70	35,9	11,8	7,29	8,27	30,6	2,0	1,41
330	III <sub>kz</sub>	SV	70	+	33,1	16,4	7,6	8,14			
INTA 13	A1 <sub>kz</sub>	SV	0	15	79,8	69,0	7,91	8,21	20,1	4,5	1,35
INTA 13	A2 <sub>kz</sub>	SV	15	22	93,4	52,0	7,92	8,26	12,8	7,5	1,44
INTA 13	B1 <sub>kz</sub>	SV	22	28	68,8	51,8	7,93	8,67			
INTA 13	B2 <sub>kz</sub>	SV	28	41	66,3	56,0	7,93	8,51			
INTA 13	III <sub>z</sub>	SV	41	78	52,9	58,2	7,9	8,37			
INTA 13	II2 <sub>kz</sub>	SV	78	+	47,5	50,0	7,95	8,4			
161	I <sub>z</sub>	LI	0	8	16,7	28,8	8,08	7,44	77,2	1,0	1,39
161	II <sub>z</sub>	LI	8	39	14,7	17,4	8,79	8,06	76,6	3,0	1,40
161	II <sub>kz</sub>	LI	39	76	32,7	18,2	8,44	7,73			
643	A1 <sub>z</sub>	LI	0	5	44,6	35,5	5,92	6,35	49,5	1,5	1,28
643	A2	LI	5	15	8,01	7,71	6,94	7,23	61,1	2,0	1,31
643	B1	LI	15	25	10,6	10,9	7,01	7,5			
643	B2	LI	25	+	10,4	7,90	7,54	8,33			
273	A1 <sub>z</sub>	LI	0	5	55,0	26,0	6,54	6,83	52,3	1,0	1,39
273	A2 <sub>z</sub>	LI	5	30	18,1	12,4	7,44	7,6	41,0	1,0	1,41
273	B <sub>kz</sub>	LI	30	+	17,8	12,4	7,77	8,39			
007	I <sub>z</sub>	LI	0	5	54,4	17,9	6,69	6,38	36,5	1,0	1,22
007	I2 <sub>z</sub>	LI	5	18	19,3	13,8	6,96	7,29			1,43
007	II <sub>z</sub>	LI	18	31	14,1	12,7	7,47	7,85	43,9	1,5	
007	III <sub>z</sub>	LI	31	84	16,6	13,0	7,53	7,96			
007	IV <sub>z</sub>	LI	84	+		16,3		8,06			

<sup>3</sup> Los valores corresponden a muestras de 0 a 7 cm y 10 a 17 cm de profundidad. No coinciden con los valores de Límite Superior (LS) ni Límite Inferior (LI).

ANEXO 5 (cont.): Tabla síntesis de variables edáficas por sitio relevado.

Sitio	H <sub>z</sub>	Zona	LS (cm)	LI (cm)	CEs 1:1 (dS/m)	CEh 1:1 (dS/m)	pHs 1:1	pHh 1:1	Arenas (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Dap (Mg/m <sup>3</sup> )
268	I	LI	0	14	3,91	8,45	7,59	7,12	69,6	1,5	1,24
268	II <sub>kz</sub>	LI	14	37	6,48	12,7	8,3	7,94	57,2	3,0	1,41
268	III <sub>z</sub>	LI	37	+	9,65	12,6	8,38	8,04			
615	I	LI	0	19	11,1	3,71	6,07	7,39	71,6	0	1,30
615	II <sub>kz</sub>	LI	19	32	13,1	10,9	7,32	8,09	63,4	2,0	1,43
615	III <sub>kz</sub>	LI	32	+	15,0	10,6	7,72	8,36			
I150	I <sub>z</sub>	LI	0	6	17,6	11,7	6,8		43,3	1,5	1,35
I150	II <sub>1z</sub>	LI	6	12	11,8	15,1	6,86		47,9	1,0	1,41
I150	II <sub>2z</sub>	LI	12	20	14,9	14,2	7,06				
I150	III <sub>z</sub>	LI	20	+	18,0	21,7	7,36				
361	I1	MCIS	0	5		4,33	6,04	5,86			1,40
361	I2	MCIS	5	30	4,10	3,40	7,73	7,03	71,9	0	1,39
361	II <sub>kz</sub>	MCIS	30	+	8,82	4,92		7,30	70,6	1,5	
QUI	I1	MCIS	0	12	10,8	3,33	6,66	6,27	78,1		1,37
QUI	I2	MCIS	12	42	6,22	4,19	7,58	6,73		0,5	1,32
QUI	II <sub>2</sub>	MCIS	42	+	12,5	6,51	7,99	8,20	75,5	1,5	
059	II <sub>z</sub>	MCIS	0	6	13,7	21,9	6,44	6,24	31,4		1,16
059	I2	MCIS	6	20	8,90	7,66	7,10	7,54		1,5	1,20
059	II	MCIS	20	50	6,97	13,7	7,55	8,08	15,9	2,0	
059	III <sub>z</sub>	MCIS	50	+	13,9	12,8	8,10	8,02			
638	I1	MCIS	0	5	16,9	9,54	6,70	7,06			
638	I2	MCIS	5	12	13,3	11,0	7,13	7,53	45,2	2,5	
638	I3 <sub>k</sub>	MCIS	12	22	6,44	13,8	7,43	7,60			
638	II <sub>k</sub>	MCIS	22	+	9,09	12,2	7,36	7,74	27,8	3,0	
642	A	B	0	5	0,39	2,34	7,23	7,73	78,0	1,0	1,29
642	C	B	5	+	2,76	5,66	7,51	7,69	74,2	2,0	1,22
CH	A	B	0	20	3,86	0,62	6,09	7,12	88,3	0	1,38
CH	C	B	20	+	3,71	0,21	7,26	6,39	88,4	0,5	1,34
266	A	B	0	10	0,48	0,98	7,47	7,10	84,8	1,0	1,39
266	C1	B	10	20	1,94	2,21	7,69	7,67	89,0	2,0	1,38
266	C2	B	20	+	3,91	3,52	7,72	7,94			
327	A	B	0	10	1,45	0,23	6,91	7,06	81,5	0,5	1,22
327	C1	B	10	30	3,50	2,15	6,88	7,02	85,7	1,0	1,23
327	C2	B	30	+	2,14	4,06	7,53	7,53			
614	A	MEIS	0	6	1,38	3,57	7,19	7,45	59,7	2,0	1,28
614	AB	MEIS	6	26	3,56	3,96	7,58	8,10	37,3	2,5	1,15
614	B <sub>k</sub>	MEIS	26	54	6,36	8,09	7,59	7,93			
614	C <sub>k</sub>	MEIS	54	+	9,36	5,52	7,85	8,07			
CL	A	MEIS	0	10	0,39	0,29	6,83	6,52	61,7	1,0	1,23
CL	C	MEIS	10	35	0,39	1,07	7,60	7,48	78,1	1,0	1,36
CL	C <sub>k</sub>	MEIS	35	+	2,00	0,51	7,41	8,00			

ANEXO 5 (cont.): Tabla síntesis de variables edáficas por sitio relevado.

Sitio	Hz	Zona	LS (cm)	LI (cm)	CEs 1:1 (dS/m)	CEh 1:1 (dS/m)	pHs 1:1	pHh 1:1	Arenas (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Dap (Mg/m <sup>3</sup> )
305	A	MEIS	0	8	0,18	0,09	6,09	5,69	59,1	1,0	1,54
305	AC	MEIS	8	22	0,23	0,42	6,37	6,77	52,0	1,0	1,41
305	C	MEIS	22	54	1,05	1,11	6,98	7,45			
284	A	MEIS	0	16	3,29	5,47	5,81	6,84	47,4	1,0	1,01
284	B <sub>w</sub>	MEIS	16	+	5,39	5,03	6,85	7,21	41,1	1,5	1,14
328Q	A	MEIS	0	16	11	14,0	6,27	6,48	27,9	1,0	1,37
328Q	AC	MEIS	16	45	5,67	6,58	7,03	7,42			1,31
328Q	C	MEIS	45	+	6,71	4,56	7,83	8,27	33,6	1,0	

Referencias: Hz: Horizonte; LS: Límite superior; LI: Límite inferior; CEs: Conductividad eléctrica en época seca; CEh: Conductividad eléctrica en época húmeda (ambos en relación suelo: agua 1:1); Dap: densidad aparente.

**ANEXO 6**  
**Marco teórico de la dinámica de poblaciones**



## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS DE ENERGÍA

La energía total del sistema es:

$$E = \sum_{i=1}^n N_i * e_i \text{ (Ball, 2004) (ec. 1),}$$

es decir, igual a la suma de todas las especies consideradas ( $N_i$ ) en el sistema, multiplicado por la energía ( $e_i$ ) acumulada en cada una como biomasa.

La energía considerada de cada especie está determinada por la energía acumulada en sus tejidos. Esa energía es igual a la energía acumulada como forraje (raíces, hojas, brotes, órganos de almacenamiento de consumo por el ganado), más la energía acumulada como madera. Por lo tanto

$$E = \sum_{f=1}^n N_f * e_f + \sum_{w=1}^n N_w * e_w \text{ (ec. 2)}$$

Teniendo en cuenta que el número de especies y la energía almacenada se relacionan con un sub-sistema (zonas), y que hay sub-sistemas que acumulan más biomasa que otros, es posible estimar la abundancia y la frecuencia de las especies presentes en cada uno de ellos. Por lo tanto, los valores más altos de abundancia, frecuencia y número de especies, deben significar una mayor energía acumulada en el sub-sistema considerado (Patten, 1959).

Si se considera un gradiente de energía, dado por las diferencias entre la biomasa total de cada sub-sistema, mayores diferencias de energía ( $\Delta E$ ) significan que las diferencias entre los sub-sistemas considerados son mayores. Menores diferencias de energía significan que los sub-sistemas son similares (al menos desde un punto de vista termodinámico).

En base a la segunda y tercera leyes de la termodinámica (Ball, 2004), podemos definir la entropía como la cantidad de energía en el sistema que no se puede utilizar para producir trabajo. Entropía, definida originalmente por Boltzmann desde el punto de vista estadístico para el estudio de los gases ideales, se puede utilizar para definir "el orden del universo" (sistema en estudio), estudiando la distribución de las partículas de gas en un recipiente cerrado:

$$S = k \ln \Omega \text{ (Ball, 2004; Patten, 1959) (ec. 3),}$$

donde  $S$  es la entropía,  $k$  es la constante de Boltzmann y  $\Omega$  es el número posible de microestados (las diferentes posibles configuraciones de las partículas en el contenedor) del sistema. A mayor número de posibilidades, el desorden se incrementa.

Dentro del sistema, la derivada de la entropía ( $d_i S$ ) sólo puede aumentar, por lo tanto:

$$d_i S \geq 0 \text{ (ec. 4),}$$

siendo la entropía un proceso espontáneo, mientras que el intercambio de entropía entre el sistema y el medio ambiente ( $d_e S$ ) puede ser positivo, negativo o cero, definiendo el diferencial de la entropía ( $dS$ ) como:

$$dS = d_i S + d_e S \text{ (ec. 5)}$$

Por lo tanto, la entropía del sistema puede aumentar, disminuir o permanecer constante. Este hecho se puede lograr en los sistemas ecológicos por el "bombeo" de entropía a través de la fotosíntesis y la acumulación de biomasa (Patten, 1959).

Un concepto opuesto a la entropía es la exergía y la disponibilidad de información (Jørgensen y Svirezhev, 2004; Patten, 1959). La energía tiene cualidades diferentes, es decir, la disponibilidad para ser utilizado, y se puede medir por su exergía.

La dinámica de un sistema se puede definir en relación con la acumulación de exergía. La exergía es igual al potencial de Gibbs (energía libre) en el sistema en relación con el mismo sistema cuando se alcanza el equilibrio termodinámico (Jørgensen y Svirezhev, 2004).

Como concepto análogo de la entropía, la exergía se puede definir como

$$Ex = T (S_i^{eq} - S) \text{ (Jørgensen and Svirezhev, 2004) (ec. 6),}$$

donde  $S$  es la entropía y  $S_i^{eq}$  es su valor en el  $i$  equilibrio (termodinámico).

Dependiendo de las moléculas construidas por la fotosíntesis (carbohidratos, proteínas, lípidos, etc), la exergía se puede almacenar en los tejidos de plantas como biomasa.

Presumiblemente, los sub-sistemas con mayores cantidades de biomasa tienen la capacidad de almacenar una mayor cantidad de exergía.

## **CONCEPTOS DE SUCESIÓN, ESTABILIDAD, CLÍMAX, EQUILIBRIO DINÁMICO, MADUREZ Y ESTADO ESTACIONARIO**

En una "sucesión ecológica", un ecosistema tiende a evolucionar hacia un equilibrio dinámico con el medio ambiente, llegando, de acuerdo con Shafi y Yarranton (1973), a un "climax". Se propuso durante muchos años que la estabilidad de un sistema crece con la complejidad del ecosistema, por ejemplo, con el número de especies o de sus interacciones (Odum, 1972; Park, 1970; Patten, 1959; Margalef, 1956). Este problema fue abordado por muchos autores desde el punto de vista energético (Jørgensen y Svirezhev, 2004; Odum, 1972; Margalef, 1963; Patten, 1959; Margalef, 1956) como una forma de cuantificar los procesos dinámicos de los ecosistemas.

El concepto de estabilidad está relacionado con la capacidad del sistema para resistir perturbaciones y alcanzar un estado de equilibrio (dinámico) (Jørgensen y

Svirezhev, 2004) definido por la relación productividad/biomasa. Según Margalef (Flos, 2005), dicho cociente disminuye a medida que la sucesión ecológica se mueve hacia adelante, porque la exergía acumulada se destina al mantenimiento de la biomasa y de la información en este equilibrio. En dicho estado de equilibrio, la tasa de crecimiento de las poblaciones de intervinientes tiende a cero y se manifiesta con fluctuaciones mínimas. En caso contrario, estamos en presencia de ciclos caóticos que manifiestan varios posibles estados de equilibrio (Stone y Ezrati, 1996).

Relacionados a un momento determinado de una sucesión, habrá poblaciones que siguen una sucesión normal dentro de una comunidad hacia un estado estacionario, y otras (adaptadas) que aprovechan nichos desalojados, lo que corresponde a los estados de sucesión más cercanos al equilibrio termodinámico (máxima entropía), con altas tolerancias frente a factores abióticos adversos.

Existe una profunda conexión entre la termodinámica como teoría física y la teoría matemática de la estabilidad. Uno de los conceptos más importantes de la teoría de la estabilidad es el concepto de "coeficientes de Lyapunov" (Justus, 2008; Jørgensen y Svirezhev, 2004). Básicamente, los coeficientes de Lyapunov indican la distancia de un sistema respecto al equilibrio termodinámico:

$$(L = S^{\max} - S) \text{ (ec. 7).}$$

En los sistemas ecológicos dichos coeficientes están relacionados con la distancia respecto a un equilibrio dinámico o "clímax", en cuyo caso es posible definir vectores hacia estados estacionarios.

La exergía ( $Ex$ ) y los coeficientes de Lyapunov están relacionados (ver ec. 6).

Por lo tanto, la exergía se puede definir a través de un coeficiente de Lyapunov (Jørgensen y Svirezhev, 2004). Es posible modificar la ec. 7, en base a la ec. 6 bajo condiciones isotérmicas ( $T = \text{const}$ ):

$$L \approx Ex \text{ (eq. 8).}$$

En 1936, Clements desarrolló el concepto de "clímax". El término se aplica a una etapa de sucesión más o menos permanente en un área característica o restringida.

Argumenta que *"la vegetación clímax es un patrón de las poblaciones correspondientes a un patrón de gradientes ambientales más o menos diversos, según la diversidad de ambientes y tipos de poblaciones en dicho patrón"* (Clements, 1936). Este concepto se refiere a una situación cuasi-estacionaria, por lo que la comunidad científica recomienda el uso del término "estado estacionario", definido como una situación en la que la vegetación cambia y presenta una condición estabilizada incompleta (Park, 1970). En este sentido, puede ser más correcto utilizar el término "poli-clímax", definido por Tansley (1911, en Park, 1970), debido a que es posible llegar a situaciones en las que la riqueza de especies y las interacciones entre los componentes del sistema son diferentes, y dependerá de la magnitud de los disturbios, la dirección de la sucesión y su punto final.

Varios autores (Odum, 1972; Phillips, 1935) aplicaron el concepto de "climax climático", como la comunidad teórica a la que una sucesión tiende a alcanzar en una región determinada. La sucesión termina en un "clímax edáfico" donde la topografía, el suelo, el agua o el fuego afectan al climax climático. El clímax edáfico será más o menos estable durante la vida del hombre hasta que se produzca un cambio regional o un cambio en el sustrato geológico. Sin embargo, por ejemplo, un horizonte "A" en un suelo puede desaparecer en pocos años debido al efecto de la erosión hídrica o eólica, y un sustrato (material originario) puede cambiar en un año luego de una tormenta de arena importante.

De acuerdo con Odum (1972), en presencia de un sustrato físico extremo, el medio ambiente es más difícil de modificar y el resultado más probable es que el desarrollo de una comunidad finalice sin poder alcanzar el equilibrio con el clima regional.

La "madurez" tiene que ver con la estabilidad del sistema, definiendo un estado de madurez como aquel sistema que posee una baja relación productividad/biomasa, definido por Margalef (Flos, 2005; Walker, 2005, Park, 1970).

Un "estado estacionario", como se dijo anteriormente, se refiere a un estado cuasi-estabilizado, aunque dinámico, que oscila en el tiempo y el espacio. Ecológicamente, el estado de equilibrio se puede definir como un estado temporal de equilibrio dinámico en un sistema abierto. La diferencia con el clímax es evidente, porque "la vegetación clímax" se define como invariable en el tiempo. Sin embargo, en el ecosistema, existe un desequilibrio constante entre los materiales (Park, 1970) y las entradas y salidas de energía (Jørgensen y Svirezhev, 2004).

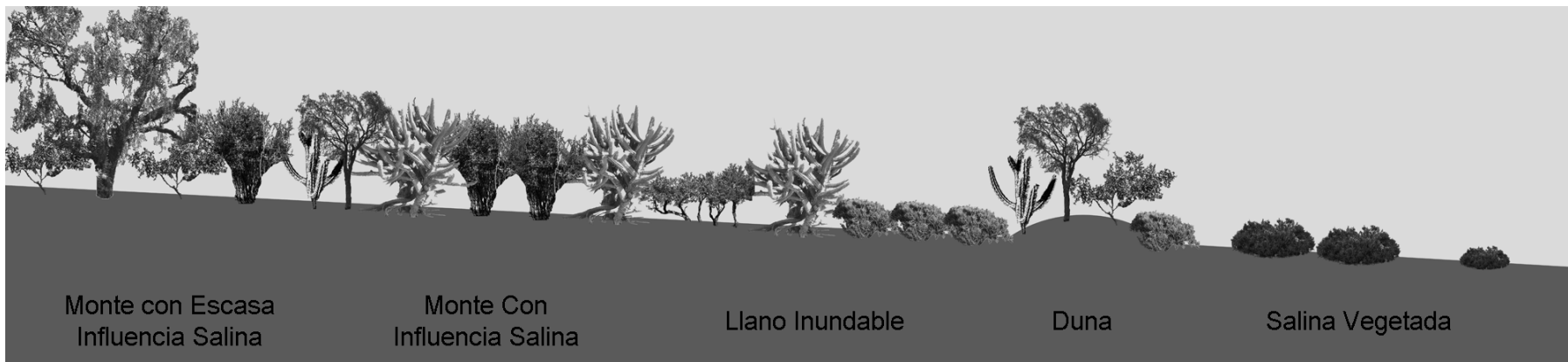
En base a las definiciones anteriores, en una sucesión, las comunidades tienden a alcanzar uno o varios estados de la estabilidad relativa, en donde las interacciones ecológicas hacen que el sistema sea más resiliente. Tales cambios pueden producirse en el tiempo (Stone y Ezrati, 1996) o en el espacio (Flos, 2005; Odum, 1972), por lo que es posible tener varias situaciones al mismo tiempo en la sucesión en un ecosistema determinado.

Si el desarrollo de una comunidad comienza en un área que no ha sido ocupado previamente por otra comunidad, el proceso se conoce como sucesión primaria. Si se inicia una sucesión en un área donde se ha eliminado una comunidad, el proceso se conoce como sucesión secundaria y tiende a desarrollarse más rápido (Odum, 1972).

De acuerdo con las definiciones, se supone que los términos "estado estacionario", "madurez" o "equilibrio dinámico" son los más adecuados, a pesar de que es posible utilizar algunos conceptos clásicos como el "clímax climático" (o modificado como "equilibrio climático") y el "clímax edáfico" (o modificado como "equilibrio edáfico") los que pueden ser útiles para explicar ciertos aspectos de la dinámica ecológica.

Teniendo en cuenta las condiciones actuales de los ecosistemas, debido a la intervención antrópica, prácticamente se deben considerar como sucesiones secundarias o de equilibrios edáficos. Las sucesiones primarias ocurren en raras ocasiones.

**ANEXO 7**  
**Perfil de vegetación de Salinas Grandes**



ANEXO 7: Perfil de vegetación de las Salinas Grandes.



**ANEXO 8**  
**Ciclo ganadero y especies forrajeras en Salinas Grandes,**  
**Catamarca, Argentina**

# Ciclo ganadero y especies forrajeras en Salinas Grandes, Catamarca, Argentina

JUAN CAVANNA<sup>1</sup>, GERMÁN CASTRO<sup>1</sup>, ULF KARLIN<sup>2</sup>, MARCOS KARLIN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Programa Social Agropecuario Catamarca, Argentina.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

\*Email: mkarlin@agro.unc.edu.ar

## RESUMEN

El área bajo estudio ha sido históricamente ganadera, con relativa baja presión, condicionada por factores hídricos y edáficos. Este trabajo caracteriza y analiza los recursos forrajeros claves y las estrategias de manejo de las comunidades locales en las Salinas Grandes al sur de la Provincia de Catamarca. Un inventario de la vegetación se realizó en cada uno de los ambientes identificados. Se obtuvo información local sobre las especies y sus usos, el manejo del ganado y la ecología de los recursos naturales. Se reconocen tres grandes subsistemas de pastoreo: “*los altos*”, “*los bajos*” y el área peridoméstica. El primero es de importancia durante el verano por la presencia de Poáceas y especies leñosas. Los “*bajos*” constituyen un importante reservorio de forraje durante el invierno y la primavera, época en que se agotan los recursos forrajeros de los “*altos*” hasta la ocurrencia de nuevas precipitaciones. El área peridoméstica, con altos niveles de sobrepastoreo, presenta escasa oferta forrajera. Los pobladores, al poseer grandes extensiones de campos comuneros, cuentan con una amplia variedad de especies, con suplemento continuo en cantidad y calidad de forraje.

Palabras clave: ambientes, ciclo de pastoreo, especies forrajeras, disponibilidad forrajera, Salinas Grandes.

## ABSTRACT

*The study area has been historically cattle oriented, with relatively low pressure conditioned by hydric and edaphic factors. This work characterize and analyze main forage resources and management strategies of the local communities from Salinas Grandes, at south of the Province of Catamarca. A vegetation inventory was made in each of the identified environments. Local information has been obtained of the species and its uses, cattle management and ecology of natural resources. Three great subsystems are recognized: “highs”, “lows” and peridomestic area. The first one is important during summer due to the presence of Poaceae and woody species. “Lows” constitute an important forage reservoir during winter and spring time when forage resources of “highs” exhaust until the occurrence of new precipitations. Peridomestic area, with high levels of overgra-*

*zing, present low forage supply. Local people, by having great extensions of communitarian land, count with a wide species variety, with continuous supply in quantity and quality of forage.*

*Key words: environments, forage species, forage availability, range management cycle, Salinas Grandes.*

Las Salinas Grandes se ubican entre 26°30' y 30°40'S y entre 63°15' y 65°25'W. Abarcan el NO de Córdoba, E de La Rioja, S de Catamarca y SO de Santiago del Estero.

Presenta clima árido con inviernos secos, mostrando grandes oscilaciones de temperaturas y lluvias, y alta evapotranspiración. El promedio de precipitaciones es aproximadamente de 300 mm (La Guardia, Catamarca), siendo los meses más lluviosos los de verano y los más secos los de invierno. La temperatura media anual es de 20,5°C (Dargám, 1995), con máximas y mínimas absolutas de 42°C y -6°C, respectivamente.

La zona de estudio ha sido históricamente ganadera con actividad caprina y bovina (Karlin *et al.*, 1994), con cargas animales relativamente bajas condicionadas por los factores hídricos y edáficos.

El presente trabajo caracteriza y analiza los recursos forrajeros considerados los más importantes por las comunidades locales y sus estrategias de manejo.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica en la costa de las Salinas Grandes al sur de la Provincia de Catamarca, entre 26°30' y 30°02'S y entre 65°10' y 65°35'W.

Se realizó el inventario de la vegetación mediante entrevistas no estructuradas y observación visual mediante recorridas con los pobladores en cada uno de los ambientes, clasificados y apoyados en la cartografía confeccionada (Ruiz Posse *et al.*, 2007). Se realizaron talleres participativos en los cuales se obtuvo información sobre las especies y sus usos, el manejo del ganado y la ecología de los recursos naturales. La importancia de los recursos forrajeros dada por los pobladores, es determinada por su abundancia (cantidad de forraje), efecto sobre los animales y por su aporte forrajero e hídrico en momentos críticos.

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### **Caracterización de las disponibilidades forrajeras**

La masa forrajera se concentra en verano, extendiéndose su disponibilidad hasta mayo o junio, dependiendo de la cantidad de lluvias estivales. La época de bache forrajero se produce en julio, agosto, setiembre y en algunos casos octubre, hasta las nuevas precipitaciones.

Se reconocen tres grandes subsistemas de pastoreo: "los altos" constituidos por los "bordos", el "monte con influencia salina" y el "monte con escasa influencia salina"; "los bajos" constituidos por la "salina vegetada", "llano bajo malo", "llano bajo bueno", "llano alto" y los "barreales"; y el "área peridoméstica" (Ruiz Posse *et al.*, 2007).

El primero de los subsistemas, "los altos", es más importante durante el verano por la presencia de Poáceas como pasto raíz (*Trichloris crinita*) y pasto remolino (*Sporobolus pyramidatus*),

por especies leñosas como algarrobo (*Prosopis aff. nigra*), mistol (*Zizyphus mistol*), mistolillo (*Castela coccinea*) y lata (*Mimozyanthus carinatus*), importantes tanto por su aporte de hojas y frutos como forraje, y su capacidad de hospedar abundantes claveles del aire o azahares (*Tillandsia spp.*), de gran importancia como reserva forrajera.

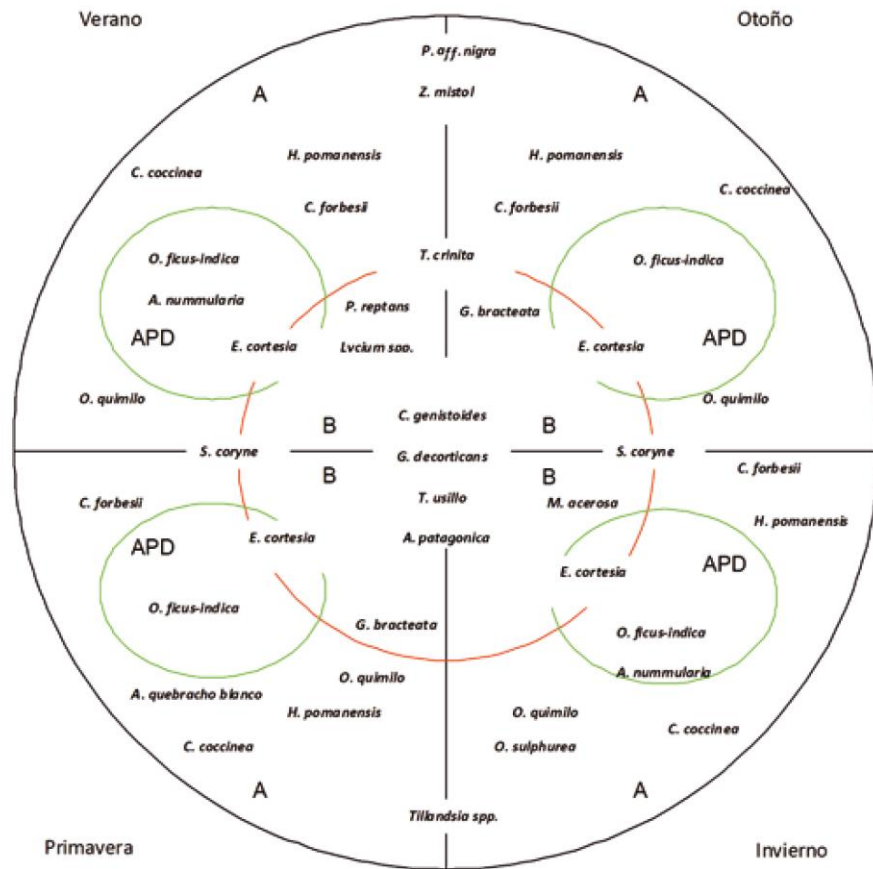
Los “bajos” son subsistemas que constituyen un importante reservorio de forraje durante el invierno y la primavera, épocas con escasos recursos forrajeros en los “altos”. Estos sub-ambientes mantienen durante el invierno condiciones de humedad que permiten el desarrollo de diversas especies arbustivas como palta (*Maytenus vitis-ideae*), cachiyuyo (*Atriplex argentina*), maíz de suri (*Ehretia cortesia*) y otros, manteniéndose verdes por más tiempo, y siendo así más palatables. Estas especies son las responsables de mantener un buen balance mineral y proteico en los animales. Asimismo, se encuentran Cactáceas, importantes por su aporte de agua, y por mantener buena sanidad en los animales. Es clave el uso del chañar (*Geoffroea decorticans*), el cual forma bosquecillos densos generando un sub-ambiente particular. Esta especie provee de numerosos recursos usados por el ganado y es hospedante importante de claveles del aire.

El área peridoméstica, con evidentes signos de sobrepastoreo, presenta oferta forrajera escasa. Aquí se encuentran los corrales donde se ofrece a los animales en forma controlada forraje como palta, claveles del aire, penca (*Opuntia ficus-indica*) y *Atriplex nummularia* (éstas últimas dos, exóticas y cultivadas). Cuando la escasez de forraje es marcada, los pobladores deben comprar granos de maíz y fardos de alfalfa hasta el advenimiento de nuevas lluvias.

La importancia de contar con diferentes sub-ambientes estriba en la constitución de un particular ciclo de pastoreo a lo largo del año y aún diariamente. Los pobladores, al poseer grandes extensiones de campos comuneros, sin delimitación de alambrados entre los sub-ambientes, cuentan con una amplia variedad de especies que se adaptan a cada situación ambiental, con una oferta continua de forraje en cantidad y calidad.

Dicha disponibilidad se detalla a continuación identificando las especies más importantes en función del sub-ambiente en el que se encuentra y la época del año en que produce el mejor aporte (Figura 1).





Referencias: A: "Altos"; B: "Bajos"; APD: Área peridoméstica

Figura 1: Esquema de distribución espacial y temporal de las especies forrajeras más importantes.

## LOS "ALTOS"

### TODO EL AÑO:

#### CACTÁCEAS

Especies de gran importancia dentro del sistema forrajero ya que en verano producen flores y frutos para el consumo, y en invierno forraje de emergencia y agua.

#### *Cereus forbesii* (Ucle)

No muy abundante. Las flores, frutos y ramas son fuente de agua para los animales. Los frutos del ucle son menos apreciados que los del cardón ya que "maduran todos juntos y caen de golpe", siendo menos aprovechados. En épocas de sequía quemar las espinas o los mismos animales los ramonean en forma directa. Las vacas prefieren las ramas de ucle sobre las de cardón. Según los pobladores "antes había de más...".

#### *Harrisia pomanensis* (Ulúa, Ulluva)

No muy abundante. Forma pequeños manchones en áreas medianosas. Los frutos son bien consumidos por los animales. Eliminadas las espinas, aporta agua de calidad. Algunas familias lo cultivan cerca de las viviendas.

#### *Opuntia quimilo* (Quimilo, Quimil)

Sólo abundante en áreas peridomésticas. Produce abundantes frutos amarillentos de pulpa amarga y ácida no comestibles que maduran en mayo. El consumo por parte de los animales es considerado por muchos peligroso por los mucílago que contienen. "Si lo come la vaca, puede morir".

#### *Stetsonia coryne* (Cardón)

Medianamente abundante en el monte, siendo muy abundante en los "bajos". Posee los mismos usos que los detallados en el otro sub-ambiente.

#### OTRAS ESPECIES

#### *Castela coccinea* (Mistol del zorro, Mistolillo, Meloncillo)

No muy abundante. Produce abundantes frutos y flores. Las hojas son forrajeras y los frutos son comidos por cerdos y cabras. Considerada importante forrajera para las cabras ya que el fruto es uno de los primeros en aparecer, engordando la majada. Tanto la leche como la carne de las cabras toman sabor amargo al consumir los frutos.

### VERANO Y OTOÑO:

#### *Cercidium praecox* (Brea)

Cierta abundancia. Los pastos conviven bien con la brea ya que su sombra es poco densa y protege a las gramíneas. Sus hojas y frutos verdes son forrajeras.

#### *Mimozyanthus carinatus* (Lata)

Muy abundante en los "bordes". Las hojas y los frutos verdes son comidas por la majada. Es hospedante muy importante de muchas epífitas, en especial especies de *Tillandsia spp.*

***Prosopis aff. nigra*. (Árbol, Árbol negro, Algarrobo dulce)**

Abundante en áreas peridomésticas, pero es posible encontrarla aisladamente en el monte con escasa influencia salina. Muy apreciado por sus frutos para todo ganado. A veces se junta para tenerlos como reserva de forraje. La producción de frutos es muy variable espacial y temporalmente. La hoja en el árbol es poco ramoneada por las cabras, consumiendo predominantemente las hojas caídas.

***Ziziphus mistol* (Mistol)**

Medianamente abundante. Es ramoneado por la hacienda y “*las cabras comen las hojas caídas*”. Los frutos también son consumidos y algunos todavía los juntan y entrojan como reserva forrajera para todo animal. Presentan abundancia de claveles del aire. Dada la densidad de la copa es escaso el pasto que crece bajo él.

**LOS PASTOS O GRAMÍNEAS**

La abundancia y composición está en relación a la presión ganadera. Los pobladores distinguen pocas especies a pesar de que existen más de veinte gramíneas. Destacan solamente dos en este ambiente.

***Sporobolus pyramidatus* (Pasto remolino, Pasto del viento)**

Estival, florece en enero y febrero. Bajo valor forrajero, poco importante como forrajera. Especie creciente (Anderson *et al.*, 1980). Sólo aparece cuando hay lluvias. Bien comido en primavera (luego de las lluvias) y verano. De escaso valor en invierno. Las raíces no profundizan bien por lo que se arranca con facilidad al ser pastoreado. El nombre alude a que “*cuando hay viento, se va*”.

***Trichloris crinita* (Pasto raíz)**

Especie estival, florece desde fines de octubre. Muy estimada por los pobladores, considerada el pasto más importante. Su producción depende de las lluvias. “*Cuando llueve viene mucho*”. Se seca muy fácilmente y en invierno está seco. Muy resistente a la presión de pastoreo por su fuerte sistema radical que le permite rebrotar con facilidad. Especie indicadora de buena condición forrajera, de buena calidad y buena producción de biomasa. De alta preferencia en verde, pero no en seco.

**INVIERNO:**

***Opuntia sulphurea* (Penca, Quiscaludo)**

Abundante, formando colonias extensas y densas. Es fuente de agua importante para los animales y es forraje de emergencia por aportar agua a los forrajes salados y secos en invierno. Para facilitar a los animales el acceso, se les queman las espinas. “*Se chamuscan las espinas y lo come la vaca, la cabra...*”. Con sed las vacas los comen aún con espinas. Los cerdos comen la raíz. Unos 2000 kg de biomasa producen 1900 l de agua.

### LOS CHAGUARES DEL AIRE

Los más importantes son los que se mencionan, por su abundancia y tamaño.

#### *Tillandsia duratii* (Margarita, Azahar, Azahar de carancho, Chaguar del aire)

Es la más grande de las *Tillandsia* en la zona y es considerada importante forrajera para las cabras. Se las junta para darle a los animales e incluso para engordar a los cabritos en el corral. Muy común y abundante en los ambientes con leñosas. Se encuentra con cierta abundancia sobre chañar, lata y cardón y en mucha menor proporción sobre otras especies.

#### *Tillandsia xiphioides* (Margarita, Azahar, Chaguar de aire, Clavel del aire)

Se la junta para darle a los animales e incluso para engordar a los cabritos en el corral. Se encuentra con cierta abundancia sobre chañar, lata y cardón y en menor proporción sobre otras especies.

Hay gran abundancia de ambas en las zonas perisalinas. Todos los chaguares de aire son forrajeras en toda época, aunque son más importantes en invierno por la falta de forraje; “*mantiene los animales*”.

Por esto es importante mantener y aún incrementar las poblaciones de los chañares, latas, cardones y otras especies que las hospedan. Un clavel del aire grande pesa en promedio unos 100 g, a 5 ejemplares por árbol y una densidad de 400 árboles por hectárea, aporta 200 kg de forraje por ha.

“*Las cabras mueren colgadas en los árboles porque buscan el azahar, porque se enganchan en las ramas*”, es por esto que son “bajados” con ganchos.

### PRIMAVERA:

#### *Tillandsia duratii* (Margarita, Azahar, Azahar de carancho, Chaguar del aire)

#### *Tillandsia xiphioides* (Margarita, Azahar, Chaguar de aire, Clavel del aire)

#### *Aspidosperma quebracho blanco* (Quebracho blanco)

Cierta abundancia en áreas sin desmonte. Las cabras comen la hoja tierna y la hoja que cae al suelo.

### LOS “BAJOS”

#### TODO EL AÑO:

#### *Stetsonia coryne* (Cardón)

Considerada una de las plantas más importantes de la costa salina por su abundancia y por sus muchos usos. Sus flores y frutos son buenos forrajes para todo animal, los cuales se encuentran disponibles desde noviembre a marzo (incluso hay frutos hasta junio). Producen pocas flores y frutos por vez, pero es constante a lo largo de muchos meses. Aporta minerales y vitaminas, y es una importante fuente de agua vegetal, espe-



cialmente en épocas de sequía o al haber consumido los animales forrajes salados. Los animales buscan el cardón como fuente de agua y como regulador fisiológico ya que su consumo elimina los parásitos. A menudo es ramoneada su corteza por su alto contenido de agua, en especial en épocas de sequía y en invierno. Los productores eliminan sus espinas para que los animales tengan mejor acceso. Es importante hospedante de claveles del aire. Se asocia con el cachiyuyo. Forma a menudo bosquecillos, con hasta 100 individuos por hectárea. Muy resistente a las sequías, pero muy susceptible a acumulaciones de agua y a incendios. Es de porte mas bajo en las zonas más bajas, dando allí fruta más chica.

***Cyclolepis genistoides* (Palo azul)**

Poco abundante. Son muy ramoneadas sus hojas, ramas, flores y frutos, en especial por la majada. En zonas con cierta presión ganadera se encuentran las plantas ramoneadas. Los animales “*levantan las hojas caídas*”.

***Ebretia cortesi* (Maíz de Suri)**

Abundante en zonas peridomésticas y en los bajos “*buenos*”. Considerada buena forrajera. Es resistente al ramoneo y al pisoteo. Muy apreciado por los pobladores locales. “*Con fruta engordan de más*” (todos los animales). Dada su alta concentración salina y relativo bajo contenido de agua, produce al ser comido, la necesidad de mayor consumo de agua, especialmente en invierno. Los frutos maduran hacia fines del verano. El nombre “maíz de suri” alude a que lo come mucho el suri (*Rhea americana*). Muchas especies se asocian, sirviendo esta especie de ambiente protector.

***Maytenus vitis-ideae* (Palta)**

Abundante por zonas. Es buena forrajera, en especial para las cabras preñadas en toda época. Se le cortan ramas con sus hojas para darles a los cabritos en el corral. El consumo de la planta en época de máxima floración “*empacha a los cabritos*”. Provee de agua y sal vegetal a los animales. Es un recurso clave para la subsistencia del ganado durante todo el año. Es la primera que rebrota, aún sin lluvias. El año resulta bueno cuando hay abundancia de palta.

***Geoffroea decorticans* (Chañar)**

Abundante por zonas. Es tolerante a la sequía y al frío. Sus raíces gemíferas dan origen a densos bosquecillos arbustivos, llamados los chañarales. El fruto es bien comido por el ganado. La hacienda se concentra en los chañarales en dicha época. Las hojas son también ramoneadas, y en zonas con cierta presión ganadera se encuentran muy ramoneados los renovales. Las cabras comen incluso las hojas caídas. En épocas de “*epidemia*” (sequía) las vacas “*hasta arrancan el yuchán (cáscara) del chañar*”. Es una especie muy importante en esta zona y cuidada por los pobladores, ya que provee de muchos beneficios. Es “*vecero*” para dar fruta ya que cuando llueve mucho se pudre la base de la flor. La fruta prende mejor en la planta cuando hay sequía. Dado lo ralo de sus copas, puede haber abundancia de forraje herbáceo bajo los mismos. Sus ramas albergan abundantes claveles del aire.

*Trichomania usillo* (Puscana, Usillo)

Es considerada importante y es comida por el ganado todo el año. En zonas con cierta presión forrajera se encuentra muy ramoneado. Lo comen mejor los animales cuando está verde.

**LOS JUMES**

Se encuentran en los lugares más salinos. Son arbustos con hojas y tallos suculentos.

*Allenrolfea patagonica* (Jume, Jume colorado)

Muy abundante. Es comido por la majada y las vacas “cuando es tierno”.

*Heterostachys ritteriana* (Jume liebre, Jume colorado)

Muy abundante en las pampas salinas. Es una de las especies que más tolera los suelos salinos. La cabra lo ramonea todo el año, y la vaca sólo cuando se acaba el pasto. Es más apreciable cuando está “entre seco y verde”. Considerado “muy engordador” para la majada. Reverdece con el sereno y “no se bela”.

*Suaeda divaricata* (Jume, Vidriera)

Medianamente abundante. Algo consumido por la hacienda.

Todas son forrajeras de mediana a baja calidad. Los altos contenidos de sales hacen que los animales deban beber más agua. Sus contenidos de diferentes sales pueden ser importantes nutricionalmente para el ganado.

*Atriplex argentina* (Cachiyuyo)

Muy abundante. Se encuentra en altas densidades de hasta 1000 ejemplares por hectárea pudiendo aportar hasta 2000 kg de forraje por ha y año. Considerada una de las forrajeras más importantes para todo el año. Es resistente a sequía y a cierto encharcamiento. Es resistente al ramoneo y al pisoteo. Es la reserva forrajera por excelencia para todo animal en especial en invierno y en veranos secos donde los pastos producen poco. La producción de frutos es muy abundante y estos son muy consumidos.

Dada su concentración salina y relativo bajo contenido de agua, produce al ser consumido la necesidad de mayor consumo de agua por parte del ganado, especialmente en invierno. Es un excelente suplemento forrajero para los animales de granja. Los cerdos lo consumen en abundancia. Sirve de ambiente protector a muchas especies.

*Lippia salsa* (Enredadera, Yerba del ciervo)

La cabra lo come en abundancia, mientras que la vaca poco. Algunos consideran que la vaca también lo come bastante. “Tiene una papita y es buscada por los chanchos”.

**VERANO:**

*Prosopis reptans* (Mastuerzo)

Abundante en los bajos con cierta acumulación de agua. Tanto los frutos como las hojas

son forrajeros, en especial para las cabras, pero también son consumidos por los vacunos, en especial sus frutos. “*Es forraje muy duro en invierno*”. Sirve de ambiente protector a muchas especies.

***Lycium spp.* (Pela suri)**

Son característicos de los bajos salinos siendo allí muy abundantes. Indican zonas de alta degradación. Sólo “*comen algo las cabras*” y “*sólo cuando no hay otra cosa*”, únicamente en verano, ya que en invierno al no tener hojas desgastan los dientes de los animales. Sirve de ambiente protector a muchas especies.

***Plectrocarpa tetracantha* (Rodajilla, Manca caballo)**

Abundante en barreales. Indica zonas de alta degradación. Las cabras comen las hojas en primavera y verano, en invierno se caen las hojas.

***Sporobolus pyramidatus* (Pasto remolino, Pasto del viento)**

***Trichloris crinita* (Pasto raíz)**

OTOÑO:

***Grahamia bracteata* (Gusanillo, Vinagrillo)**

Medianamente abundante. Es forraje tanto para cabras como para vacunos, en especial en otoño, antes que caigan sus hojas. La hoja se usa para mitigar la sed. El nombre de vinagrillo es probable que se deba al sabor de las mismas. Es acuosa y con gusto a limón.

INVIERNO:

***Monanthochloe acerosa* (Pasto guanaco)**

Muy abundante en las pampas salinas, donde constituye uno de los elementos más característicos de las estepas de *Allenrolfea patagonica*. Muy importante para los sistemas ganaderos sobre todo en la época invernal donde escasean los forrajes de otros ambientes. “*La helada no le hace nada...sí el sol y la seca*”. En época de inundaciones y lluvias excesivas muere. Para que los sistemas ganaderos funcionen bien es necesario contar con una superficie importante de este sub-ambiente. “*La hacienda se pasa meses en la pampa (salina)*”. Llamado pasto guanaco por ser muy pastoreado por este animal (*Lama guanicoe*). “*Pasto de él*”.

PRIMAVERA:

***Grahamia bracteata* (Gusanillo, Vinagrillo)**

Lo come la cabra en época de lluvias. Importante forraje en primavera ya que es “*el primero en salir*”, “*con la primera lluvia verdece*”.

## ÁREA PERIDOMÉSTICA

### TODO EL AÑO:

#### *Opuntia ficus-indica* (Penca)

Cultivada en cercos ubicados en el área peridoméstica por su importancia como forraje de emergencia y contenido de agua. Los pobladores cortan los cladodios, flores y frutos para dar en el corral a los animales. La ausencia de espinas facilita el manejo. Importante porque “*baja la leche de los animales*”.

#### *Atriplex nummularia* (Atriplex)

De reciente introducción en la zona por lo que está poco difundida. Especie cultivada en cercos y utilizada para darles a los cabritos en los corrales. Posee propiedades similares al *A. argentina* presente en la zona, pero de mayor producción por planta y menor contenido de sales en sus tejidos.

#### *Ebretia cortesia* (Maíz de Suri)

#### *Maytenus vitis-ideae* (Palta)

### VERANO:

#### *Cynodon dactylon* (Gramilla)

Sólo se encuentra en lugares con cierta humedad y no salinos, como en los bordes de las represas o en áreas de acumulación de agua. Considerada buena forrajera para todo animal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, D. L., J. Del Aguila, A. Marchi, J.C. Vera, A. Bernardon & E. Oriente. 1980. *Manejo racional de un campo en la región árida de los Llanos de La Rioja. República Argentina. Partes I y II*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Dargám, R. M. 1995. Geochemistry of waters and brines from the Salinas Grandes basin, Córdoba, Argentina. I. Geomorphology and hydrochemical characteristics. *Int. J. of Salt Lake Res.* 3:137-158.
- Karlin, U., L. Catalán & R. Coirini. 1994. *El Chaco Seco. Un Ambiente con Vocación Forestal*. GTZ. Salta, Argentina.
- Ragonese, A. E. 1951. La vegetación de la República Argentina. II.- Estudio fitosociológico de las Salinas Grandes. *Rev. Inv. Agríc.* 5(1-2):1-233.
- Ruiz Posse, E., U. O. Karlin, E. Buffa, M. Karlin, C. Gai Levra & G. Castro. 2007. Ambientes de las Salinas Grandes de Catamarca, Argentina. *Multriquina* 16:123-138.

**ANEXO 9**  
**Fenología reproductiva de especies vegetales de Salinas**  
**Grandes, Catamarca, Argentina**



# Fenología reproductiva de especies vegetales de Salinas Grandes, Catamarca, Argentina

MARCOS KARLIN\*, ANA CONTRERAS, ULF KARLIN, RUBÉN COIRINI

Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

\*Email: mkarlin@agro.unc.edu.ar

## RESUMEN

Se compararon las relaciones entre los patrones fenológicos reproductivos de 113 especies vegetales de 37 familias botánicas y las características ambientales de cinco sub-ambientes pertenecientes a la región de Salinas Grandes (Provincia de Catamarca, Argentina). Los sub-ambientes se diferencian entre sí principalmente por la salinidad del suelo. Los datos fenológicos fueron tomados en cada sub-ambiente, durante dos temporadas sucesivas a través de observaciones visuales de poblaciones vegetales en distintos puntos de la cuenca. Para cada sub-ambiente se determinó conductividad eléctrica (1:1) en época seca y época húmeda. Los resultados muestran diferencias significativas en las épocas de floración y fructificación según sub-ambientes. Las lluvias producen distintas respuestas fenológicas según la familia evaluada y en relación con los distintos sub-ambientes considerados. Son destacables los efectos que produce el agua del suelo sobre las fenofases de las Quenopodiáceas. La fenofase inicio de floración no se activa como consecuencia de las precipitaciones en las demás familias estudiadas.

Palabras clave: agua edáfica, fenología, Salinas Grandes, salinidad, vegetación.

## ABSTRACT

*Relationships between reproductive phenological patterns of 113 vegetal species of 37 botanical families and environmental characteristics of five sub-environments of Salinas Grandes region (Province of Catamarca, Argentina) were compared. The sub-environments difference mainly by soil salinity. Phenological data was taken in each sub-environment, along two successive seasons through visual observations of vegetal populations in different points of the basin. For each sub-environment, electrical conductivity (1:1) was determined in dry and rainy season. Results show significative differences in the periods of flowering and fructifying depending on the sub-environment. Rains produce different phenological responses according to the evaluated families and in relation to the different considered sub-environments. The effect of soil water over Chenopodiaceae phenophases is important. The phenophase flowering initiation is not activated in the other studied families as a consequence of precipitations.*

*Key words: edaphic water, phenology, Salinas Grandes, salinity, vegetation.*

En la República Argentina las zonas áridas y semiáridas, comprenden un 70% de su superficie. En estas áreas se encuentran ambientes salinos en posiciones bajas de relieve, siendo la región de Salinas Grandes, ubicada en el centro-oeste, la principal área salina del país. Posee características particulares que la diferencian de las demás regiones salinas, debido a que en ella confluyen distintas formaciones fitogeográficas, lo que le otorga una amplia diversidad vegetal.

Esta región presenta diversos sub-ambientes distribuidos a manera de parches en los cuales se desarrollan determinadas formas de vegetación. Dichos parches conforman una barrera física al viento y al agua, permitiendo la acumulación de material arrastrado por estos agentes, modificando las condiciones edáficas y permitiendo la instalación de aquellas especies vegetales más sensibles a altos tenores de salinidad (Ruiz Posse *et al.*, 2007). En este sentido, la presencia de parches en los ecosistemas de zonas áridas genera microambientes con características particulares en los cuales las especies vegetales utilizan los recursos en forma diferencial (Whitford, 2002).

Los aspectos fenológicos de las plantas son un indicador de procesos ecofisiológicos y resultado de diferencias morfológicas y genéticas, ya que estas poseen adaptaciones que le permiten utilizar al máximo los recursos que le brinda el microambiente en que viven.

La bibliografía (Pavón & Briones, 2001; Abd El Ghani, 1996; Fresnillo Fredorenko *et al.*, 1995; Steyn *et al.*, 1994; Friedel *et al.*, 1992; Gutterman, 1990) menciona que las principales causas que afectan la fenología reproductiva vegetal corresponden a factores climáticos, principalmente precipitaciones (asociadas al contenido de humedad de los suelos), temperatura, y en menor medida fotoperíodo. Algunas especies vegetales de zonas áridas se han adaptado para permitir su supervivencia y reproducción produciendo propágulos que puedan desarrollarse en épocas favorables, ya sea en épocas de lluvias, o en épocas de incremento poblacional de ciertos animales que favorecen la propagación de dichas estructuras reproductivas (Pavón & Briones, 2001; Petit, 2000).

El agua recibida a través de precipitaciones estacionales, es acumulada en el suelo, quedando retenida en mayor o menor medida dependiendo de los potenciales mátricos y osmóticos particulares de cada situación, además del gravitacional (Richards, 1969), siendo el potencial osmótico el de mayor influencia en aquellos ambientes o sub-ambientes que presentan elevados tenores salinos en el suelo.

En el área de estudio se pueden observar diferentes sub-ambientes que han sido formados por la interacción de procesos geomorfológicos y por la vegetación adaptada. Pueden diferenciarse entonces distintos tipos de suelo con contenidos salinos variables. Dicha concentración salina es un factor muy importante que regula el desarrollo de la flora local alterando sus procesos fisiológicos y los patrones espaciales de las comunidades vegetales. De acuerdo a las adaptaciones genéticas propias de cada especie, las estrategias reproductivas varían en función de la misma y del ambiente en el cual están instaladas.

El conocimiento de las variaciones fenológicas tiene gran importancia sobre el manejo de los recursos vegetales identificados. Muchas especies son formadoras de suelo y presentan gran potencialidad económica, ya sea como forrajeras o como apícolas. Por un lado, la modelización

de las fechas de floración y fructificación permitiría predecir el comportamiento de las especies vegetales en diferentes sub-ambientes, pudiéndose planificar el aprovechamiento de aquellas con importancia ambiental y económica. Esto trae aparejado un mejor conocimiento de la dinámica ambiental proporcionando herramientas para la conservación y el uso sustentable de los recursos en el espacio y el tiempo.

Con este trabajo se pretende establecer posibles relaciones entre los patrones fenológicos reproductivos de especies de la región de Salinas Grandes y las características climáticas y edáficas de los sub-ambientes identificados.

La hipótesis que se busca probar es que las especies locales generalistas, dependiendo del sub-ambiente en el cual se encuentran instaladas, florecen y fructifican en diferentes fechas y esto depende de sus estrategias adaptativas.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra al sur de la Provincia de Catamarca (Argentina), en el Departamento La Paz, siendo los límites establecidos las Rutas Nacionales N° 60 y N° 157 hacia el este, la Ruta Provincial N° 20 hacia el norte, y los límites políticos con las Provincias de La Rioja y Córdoba al oeste y sur respectivamente. Abarca una superficie de 400.000 ha, correspondiente a la región de Salinas Grandes, comprendiendo las geoformas de bajada y playa (Capitanelli, 1979), con una elevación sobre el nivel del mar que va desde 150 a los 210 m (Ruiz Posse *et al.*, 2007).

Presentan un clima de tipo continental, mesotérmico, árido con inviernos secos, con grandes amplitudes térmicas y amplias oscilaciones en lluvias, y alta evaporación. La precipitación media anual oscila entre 300 y 500 mm, siendo el periodo más lluvioso noviembre-marzo, mientras que los meses más secos son junio, julio y agosto (Ruiz Posse *et al.*, 2007). La evapotranspiración potencial anual es de 950 mm, produciéndose déficit hídrico durante todo el año (Zamora, 1990). La temperatura media anual es de 20,5 °C (Dargám, 1995), con máximas y mínimas absolutas de 42°C y -6 °C respectivamente. Las heladas ocurren entre abril y septiembre, aunque son de baja frecuencia (Ruiz Posse *et al.*, 2007). Los vientos soplan con relativa frecuencia y corren generalmente en dirección noreste a sudoeste y de este a oeste (Ragonese, 1951), coincidiendo los meses que presentan una mayor intensidad en los vientos, con los meses mas secos del año.

Se determinó la fenología reproductiva de especies vegetales pertenecientes a 37 familias representativas de la zona (Cuadro 1), a través de observaciones visuales en toda el área de estudio, con el fin de absorber la variabilidad climática. Los datos fenológicos fueron tomados aproximadamente cada 15 días durante 2 años, al azar en distintos puntos de la cuenca, identificando el sub-ambiente al cual pertenecían las especies consideradas. Debido a las grandes distancias requeridas para incluir distintos sub-ambientes, no se pudieron relevar la totalidad de fenofases para todas las especies, por lo que los datos faltantes se calcularon en función a análisis de regresión lineal. Para cada variable (inicio, plenitud, final de floración, inicio, plenitud y final de fructificación) se realizaron correlaciones cruzadas en base a coeficientes de correlación de Pearson, teniendo en cuenta los valores de  $R^2$  más altos para cada una.



La diferenciación ambiental se hizo conforme a la clasificación hecha por Ruiz Posse *et al.* (2007), tomando en cuenta cinco de los diez sub-ambientes: salina vegetada (*sv*), bajo bueno (*bb*), monte con influencia salina (*mcis*), bordo (*b*) y monte con escasa influencia salina (*msis*). Las fechas de ocurrencia de las fenofases fueron tabuladas tomando el valor medio de cada población en determinado sitio, siendo la superficie relevada de cada uno variable en función del tamaño de cada parche de vegetación. Las fenofases son las siguientes:

- inicio de floración: 10% de las plantas de una comunidad con flores, o presencia de botón floral.
- plena floración: al menos el 50% de las plantas de una comunidad con flores.
- fin de floración: decaimiento de flores en las plantas de una comunidad o últimas flores producidas superpuestas con el comienzo de fructificación.
- inicio de fructificación: 10% de las plantas de una comunidad con frutos, o comienzo de cuajado de flores.
- plena fructificación: al menos 50% de las plantas de una comunidad con frutos.
- fin de fructificación: madurez de frutos o caída de frutos según especie.

Las precipitaciones correspondientes al ciclo estudiado (2007-2009) se midieron en cuatro puntos estratégicos del área de estudio a través de estaciones meteorológicas instaladas en dichos sitios.

Se realizaron calicatas en lugares representativos de los diferentes sub-ambientes, tomando como base imágenes satelitales correspondientes al área de estudio. Una vez identificados los horizontes de cada perfil, se determinó en cada uno conductividad eléctrica (1:1) (Richards, 1969) a través de conductímetro a partir de muestras compuestas (de 12 sub-muestras tomadas al azar) en época seca y época húmeda. A fin de que los datos fueran comparativos entre sí, se ponderaron los valores a profundidades de 0-20 cm.

La comparación de las fenofases entre los diferentes sub-ambientes de las familias que poseen especies más abundantes, y de las especies generalistas, se hizo a través de análisis de la varianza y análisis de conglomerados. Se realizó para cada familia y cada especie considerada un diagrama de perfiles multivariados a fin de observar tendencias de dichas familias y especies en cada sub-ambiente. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el programa informático Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observa que la floración y fructificación en general, tomando como promedio el conjunto de especies observadas en cada sub-ambiente, es más tardía al aumentar el tenor salino de los suelos (Figura 3). La floración y fructificación más atrasada corresponde a las especies que habitan los sub-ambientes *sv* y *bb*, no observándose diferencias significativas entre estos dos sub-ambientes, pero sí con respecto al resto de los sub-ambientes. Esto puede deberse a que en estos sub-ambientes se asientan especies adaptadas que no se encuentran en otros sub-ambientes, o a efectos de las concentraciones salinas sobre especies que pueden encontrarse en sub-ambientes diferentes.

Para ver la influencia de la salinidad sobre las familias más representativas, en la Figura 2 se grafican las fechas de ocurrencia de las fenofases de las familias estudiadas que poseen especies de mayor abundancia.

Las familias estudiadas difieren entre sí en sus patrones fenológicos, siendo las Asteráceas las especies que primero florecen, y por último las Quenopodiáceas.

Las Quenopodiáceas se diferencian netamente del resto de las familias. Las especies consideradas dentro de esta familia corresponden a especies halófitas en su totalidad (*Heterostachys ritteriana*, *Allenrolfea patagonica*, *Suaeda divaricata*, *Atriplex argentina*) (Cuadro 1).

Debido a que las especies relevadas dentro de la familia de las Quenopodiáceas son en su totalidad halófitas, las adaptaciones genéticas a los ambientes salinos permitirían que dichas especies florezcan y fructifiquen bajo condiciones favorables para la planta. Se observa que la floración en estas especies ocurre luego de que en el suelo se acumuló una considerable cantidad de agua de lluvia, produciendo la dilución de las sales presentes en dichos suelos.

La fenofase inicio de floración en la familia de las Asteráceas no se produce por la ocurrencia de precipitaciones, ya que comienza antes del período normal de lluvias, lo que indicaría que su patrón fenológico se activa probablemente por efectos de la temperatura y/o fotoperíodo. Este caso resulta interesante ya que poseen un efecto de activación de fenofases reproductivas independiente de las lluvias, a pesar de instalarse en áreas de relativo alto contenido salino ya que se ubican preferentemente en sub-ambientes *bb* (conductividades eléctricas entre 5 y 25 dS/m, Figura 3), con lo cual estas especies poseen la capacidad de producir flores y frutos a pesar de los altos potenciales osmóticos que se presentan en la época seca.

Las Fabáceas, Zigofiláceas y Cactáceas también comenzaron a florecer antes de las precipitaciones en la temporada 2007-2008, pero lo hicieron luego de las lluvias en la temporada 2008-2009. En estas familias no se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en las fechas de ocurrencia de la fenofase inicio de floración entre ambas temporadas, lo que indicaría que los estímulos para florecer serían independientes de las precipitaciones. En el caso de las Zigofiláceas y Cactáceas tampoco se observaron diferencias significativas entre temporadas en las fenofases inicio, plenitud y final de fructificación, sin embargo si se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para estas fenofases en las Fabáceas, con lo cual las variables edáficas afectarían la formación y llenado de frutos.

En el caso de las Quenopodiáceas se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la fecha de ocurrencia de las fenofases en ambos años, lo que indicaría que existe un efecto claro de la acumulación de agua en el perfil del suelo sobre la floración y fructificación. Es decir, el comienzo de la floración ocurriría bajo la presencia de cierto tenor hídrico que permita diluir las sales en el suelo. De hecho, se observa que las fechas de las fenofases son mayores en aquellas especies que se desarrollan en sub-ambientes más salinos. *Atriplex argentina* y *Suaeda divaricata* se desarrollan bajo tenores salinos similares (menores a 25 dS/m) y son las primeras en florecer y fructificar dentro de la familia Quenopodiáceas, mientras que *Allenrolfea patagonica* sigue en la secuencia y luego lo hace *Heterostachys ritteriana*, los

cuales se desarrollan bajo tenores salinos mayores (predominan en el sub-ambiente *sv* con conductividades eléctricas mayores a 25 dS/m) (Figura 3).

En las Poáceas no se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el comienzo de la floración entre ambas temporadas, pero sí se observó para fructificación, con lo cual la acumulación de agua en el perfil sería fundamental para el llenado de frutos.

Las Cactáceas tendrían la capacidad de proliferar en aquellos sub-ambientes en los cuales se encuentra un horizonte superficial arenoso, lo que permite que se produzca un fenómeno de destilación natural del agua edáfica (Ruiz Posse *et al.*, 2007), la cual es aprovechada por su sistema radical superficial (Pavón & Briones, 2001), permitiendo también el aprovechamiento del agua inmediatamente después de la ocurrencia de lluvias, maximizando así el uso del agua disponible. Debido a que la floración en Cactáceas se produciría por estímulos tales como termoperiodo o fotoperiodo, esta adaptación no sería tan importante para esta fenofase, ya que según Pavón & Briones (2001) utilizarían el agua de sus tejidos para activar la floración. Sin embargo, podría ser importante sobre la fructificación, y sobre todo para el llenado del fruto. Las diferencias fenológicas permiten agrupar los sub-ambientes en dos grandes grupos (Figura 4): áreas con altos contenidos salinos promedio (superiores a 10 dS/m) y áreas con menor contenido salino (menos de 10 dS/m). Es de destacar que en los sub-ambientes *sv* y *bb* se observan diferentes tendencias, antes y después de la ocurrencia de lluvias. Se observa en la Figura 3 que la concentración salina en ambos sub-ambientes es mayor en época seca que húmeda. Esto se debe al arrastre de las sales por ascenso de agua capilar debido a la evapotranspiración. Aquí predominarían las sales solubles como cloruros y sulfatos de sodio que son solubles.

Las diferencias de concentración y tipos de sales en el suelo entre sub-ambientes con alto contenido salino y sub-ambientes con relativamente bajos contenidos salinos, condicionan su manejo. La identificación de estas diferencias ayuda a la aplicación de toma de decisiones sobre el manejo en cada agrupamiento.

En ninguna de las especies generalistas estudiadas se observan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) cuando se las compara sobre diferentes sub-ambientes. Esto indicaría que la respuesta de las especies frente a los cambios de salinidad sería provocada por adaptaciones genéticas y no existen cambios de fecha de fenofases en una misma especie al cambiar de sub-ambiente.

## CONCLUSIONES

Las fechas de ocurrencia de floración y fructificación son diferentes entre los sub-ambientes con altas y relativamente bajas concentraciones de sales. Esto indica que existe un efecto de la salinidad sobre la floración y fructificación general de la vegetación en esta región. Dichas diferencias permiten una oferta diferencial de recursos más amplia en el tiempo tales como néctar y polen, pudiendo ser aprovechada por las abejas silvestres y domésticas aumentando el potencial apícola. Asimismo, permite contar con una oferta forrajera continua a través del año, a través de la utilización de productos de los diferentes sub-ambientes.

Sin embargo, la variabilidad fenológica de una misma especie en diferentes sub-ambientes



no se produce, es decir no hay una respuesta diferencial de la especie frente a diferentes condiciones edáficas. Esto indica que las respuestas de las plantas frente al aumento de la salinidad, y por lo tanto el aumento de retención de agua por parte del suelo, no son ambientales sino que tienen un componente genético adaptativo.

Las Quenopodiáceas, al presentar una floración más tardía y dependiente de la acumulación de agua en el suelo, demuestran que han coevolucionado con el ambiente, permitiendo su reproducción y dispersión. Esta floración tardía permite alargar el período de disponibilidad de néctar y polen para un mejor aprovechamiento apícola.

Las Poáceas presentan una respuesta positiva frente a las lluvias en la fructificación, pero no en la floración, lo que hace pensar que para esto último existe un estímulo de otra naturaleza. De esta forma, con la lluvia se favorece la producción de semillas viables para la reproducción de estas especies y una adecuada resiembra natural.

Debido a la capacidad de almacenamiento y utilización del agua de los tejidos en las Cactáceas, éstas pueden florecer y fructificar independientemente de las lluvias. Estas especies se instalan en sectores con horizontes superficiales arenosos que permiten un mejor aprovechamiento del agua para la producción de frutos, que a pesar de no ser determinante para la ocurrencia de esta fenofase, permitiría obtener frutos de mejor calidad, tamaño y peso.

Las Fabáceas y Zigofiláceas poseen estímulos para la floración aparentemente independientes de la presencia de agua edáfica. En estos casos, la presencia de la mayoría de las especies en áreas poco salinas, hacen que la retención del agua por el suelo no se vea afectada mayormente por la salinidad, siendo los potenciales osmóticos despreciables. Sin embargo, es de destacar que en algunas especies de estas familias, al tener mayor distribución espacial, podrían tener algún efecto. En el caso de las Fabáceas, es importante que en la época de fructificación se produzcan lluvias para un correcto llenado de los frutos.

Las Asteráceas, presentes en zonas con alto contenido de sales solubles, poseen gran capacidad de producir flores y frutos en época seca sin necesidad de que las sales solubles del suelo se diluyan previamente. Esta particularidad constituye un caso muy interesante que merece ser estudiado más a fondo a nivel individual para observar cuáles son los comportamientos particulares de cada especie considerada.

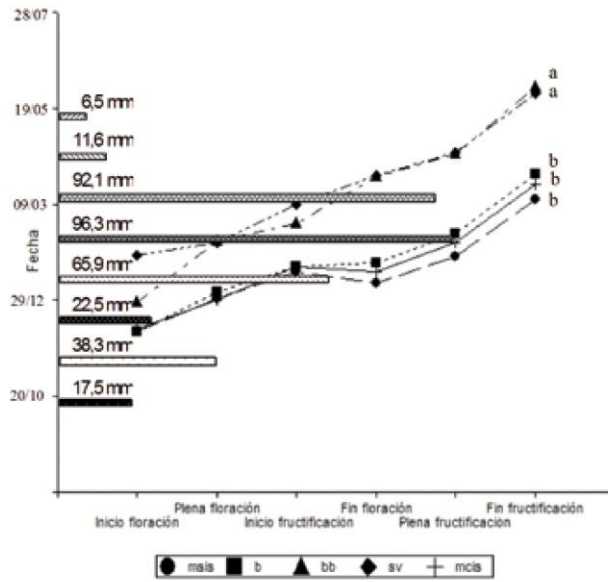
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd El-Ghani, M. M. 1997. Phenology of ten common plants species in western Saudi Arabia. *J. Arid Environ.* 35: 673-683.
- Capitanelli, R. G. 1979. Cap V. Geomorfología. En: Vázquez, J.B.; R.A. Miatello y M.E. Roqué. *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Ed. Boldt. Córdoba, Argentina.
- Dargám, R. M. 1995. Geochemistry of waters and brines from the Salinas Grandes basin, Córdoba, Argentina. I. Geomorphology and hydrochemical characteristics. *Int. J. Salt Lake Res.* 3: 137-158.
- Di Rienzo, J.; F. Casanoves; L. Gonzalez; M. Tablada; C. Robledo & M. Balzarini. 2007. Infostat. CD. Facultad de Ciencias Agropecuarias – Universidad Nacional de Córdoba
- Fresnillo Fedorenko, D. E.; O. A. Fernández; C. A. Busso & O.E. Elia. 1996. Phenology of Medicago mínima and Erodium cicutarium in semi-arid Argentina. *J. Arid Environ.* 33: 409-416.
- Friedel, M. H.; D. J. Nelson; A. D. Sparrow; J. E. Kinloch & J. R. Maconochie. 1994. Flowering and fruiting of arid zone species of Acacia in central Australia. *J. Arid Environ.* 27: 221-239.
- Gutterman, Y. 1991. Photoperiodic influences on the flowering time of the hysteroanthous geophyte Sternbergia clausiana population of the Negev Desert Highlands. *J. Arid Environ.* 21: 31-35.
- Pavón, N. P. & O. Briones. 2001. Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *J. Arid Environ.* 49: 265-277.
- Petit, S. 2001. The reproductive phenology of three sympatric species of columnar cacti on Curaçao. *J. Arid Environ.* 49: 521-531.
- Ragonese, A. E. 1951. La vegetación de la Republica Argentina. II.- Estudio fitosociológico de las Salinas Grandes. *Rev. Inv. Agríc.* 5(1-2): 1-233.
- Richards, L.A. (Ed.). 1969. *Diagnosis and Improvement of Saline and Sodid Soils*. USDA, Washington DC.
- Ruiz Posse, E.; U. O. Karlin; E. Buffa; M. Karlin; C. Gai Levra & G. Castro. 2007. Ambientes de las Salinas Grandes, Catamarca, Argentina. *Multequina* 16: 123-137.
- Steyn, H. M.; N. van Rooyen; M. W. van Rooyen & G. K. Theron. 1996. The phenology of Namaqualand ephemeral species. The effect of water stress. *J. Arid Environ.* 33: 49-62
- Whitford, W. G. 2002. *Ecology of desert systems*. Academic Press. New York.
- Zamora, E. M. 1990. *Cartografía, génesis y clasificación de los suelos del Noroeste de la Provincia de Córdoba*. Tesis doctoral. Mimeo. 174 pág.

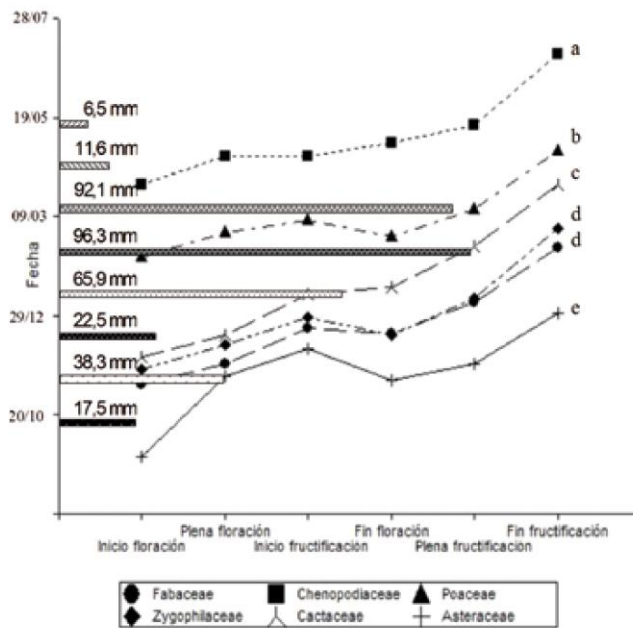
Tabla 1: Listado de especies relevadas.

Especie	Familia	Especie	Familia
Acacia aroma	Fabaceae	Maytenus vitis-ideae	Celastraceae
Acacia furcatispina	Fabaceae	Mimosa detinens	Fabaceae
Acacia praecox	Fabaceae	Mimozyanthus carinatus	Fabaceae
Allenrolfea patagonica	Chenopodiaceae	Monantochloe acerosa	Poaceae
Aloysia gratissima	Lamiaceae	Monvillea spegazzinii	Cactaceae
Alternanthera nodifera	Amaranthaceae	Morrenia odorata	Asclepiadaceae
Aristida mendocina	Poaceae	Neobouteloua lophostachya	Poaceae
Aristolochia argentina	Aristolochiaceae	Opuntia ficus-indica	Cactaceae
Aspidosperma quebracho blanco	Apocinaceae	Opuntia quimilo	Cactaceae
Atriplex argentina	Chenopodiaceae	Opuntia sulphurea	Cactaceae
Boehavia sp.	Nyctaginaceae	Pappoforum subbulbosum	Poaceae
Bouteloua aristoides	Poaceae	Passiflora mooreana	Passifloraceae
Bulnesia bonaerensis	Zygophylaceae	Phoradendron hieronymi	Santalaceae
Bulnesia foliosa	Zygophylaceae	Pithecoctenium cynanchoides	Bignoniaceae
Bulnesia retama	Zygophylaceae	Plectocarpa tetraantha	Zygophylaceae
Capparis atamisquea	Capparidaceae	Portulaca grandiflora	Portulacaceae
Capsicum chacoensis	Solanaceae	Portulaca oleracea	Portulacaceae
Castela coccinea	Simaroubaceae	Prosopanche americana	Hydnoraceae
Cenchrus ciliaris	Poaceae	Prosopis abbreviata	Fabaceae
Cercidium praecox	Fabaceae	Prosopis chilensis	Fabaceae
Cereus aethiops	Cactaceae	Prosopis flexuosa	Fabaceae
Cereus forbesii	Cactaceae	Prosopis nigra	Fabaceae
Chloris ciliata	Poaceae	Prosopis reptans	Fabaceae
Cleistocactus baumanii	Cactaceae	Prosopis sericantha	Fabaceae
Clematis montevidensis	Ranunculaceae	Prosopis torquata	Fabaceae
Commelina erecta	Commelinaceae	Salicornia perennis	Chenopodiaceae
Condalia microphylla	Ramnaceae	Schinopsis quebracho colorado	Anacardiaceae
Cordobia argentea	Malpighiaceae	Senna acanthoclada	Fabaceae
Cressa nudicaulis	Convolvulaceae	Senna aphyla	Fabaceae
Cucurbitella asperata	Cucurbitaceae	Setaria leucopila	Poaceae
Cyclolepis genistoides	Asteraceae	Solanum chroniostrichium	Solanaceae
Digitaria californica	Poaceae	Sporobolus phleoides	Poaceae
Echinopsis leucantha	Cactaceae	Sporobolus pyramidatus	Poaceae
Erhetia cortesia	Boraginaceae	Stetsonia coryne	Cactaceae
Geoffroea decorticans	Fabaceae	Sthruanthus angustifolius	Loranthaceae
Gonphrena martiana	Amaranthaceae	Suaeda divaricata	Chenopodiaceae
Gouinia paraguayensis	Poaceae	Tabebuia nodosa	Bignoniaceae
Grabowskia duplicata	Solanaceae	Talinum polygaloides	Portulacaceae
Grahamia bracteata	Portulacaceae	Tamarix ramossissima	Tamaricaceae
Gymnocalidium delaetti	Cactaceae	Tephocactus articulatus	Cactaceae
Gymnocalidium ragonesei	Cactaceae	Tessaria dodonaeifolia	Asteraceae
Gymnocalidium schickendanzii	Cactaceae	Tillandsia hieronimi	Bromeliaceae
Gymnocalidium stellatum	Cactaceae	Tillandsia cordobensis	Bromeliaceae
Harrisia pomanensis	Cactaceae	Tillandsia durantii	Bromeliaceae
Heliotropium johnstonii	Boraginaceae	Tillandsia hieronimii	Bromeliaceae
Heterostachys ritteriana	Chenopodiaceae	Tillandsia rectangula	Bromeliaceae
Ipomea sp.	Convolvulaceae	Tillandsia xiphoides	Bromeliaceae
Jatropha macrocarpa	Euphorbiaceae	Tribulus terrestris	Zygophylaceae
Justicia echeagarayii	Acanthaceae	Trichloris pluriflora	Poaceae
Justicia xylostioides	Acanthaceae	Trichoris crinita	Poaceae
Larrea cuneifolia	Zygophylaceae	Trycila spinosa	Nyctaginaceae
Larrea divaricata	Zygophylaceae	Tricomaria usillo	Malpighiaceae
Ligaria cuneifolia	Loranthaceae	Twedia brunonis	Asclepiadaceae
Lippia salsa	Verbenaceae	Ximenia americana	Olacaceae
Lippia turbinata	Verbenaceae	Zephyranthes mesochloa	Amarillidaceae
Lycium spp.	Solanaceae	Zizyphus mistol	Ramnaceae
Maytenus spinosa	Celastraceae		

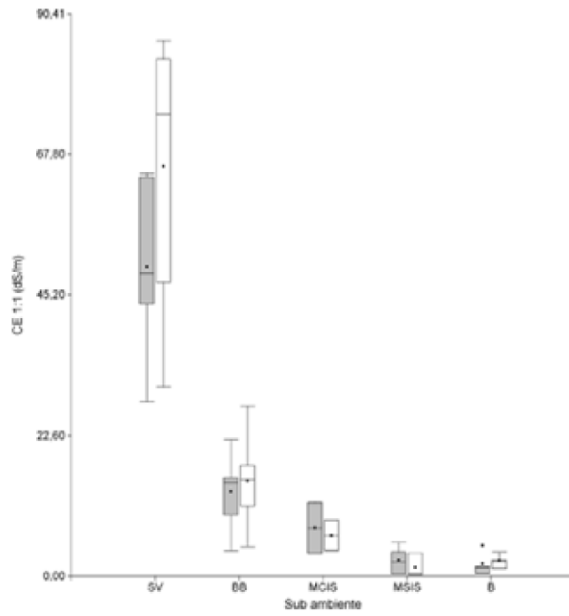




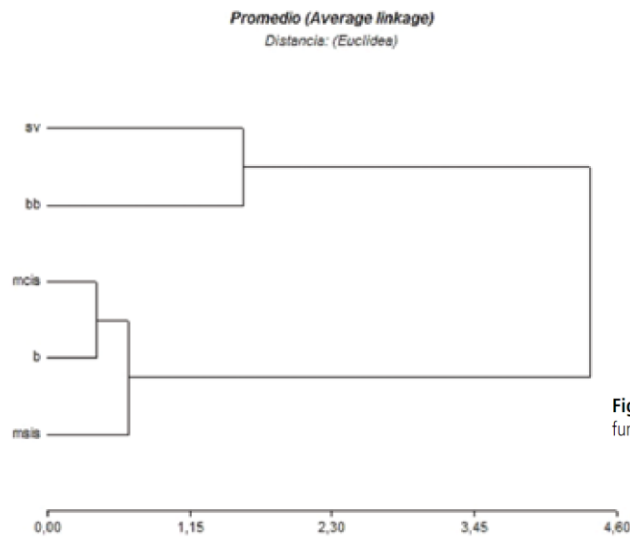
**Figura 1:** Fenología por sub-ambiente (líneas) y precipitaciones (barras horizontales) de la temporada 2007-2009 (Letras diferentes muestran diferencias significativas, LSD Fisher, alfa=0,05).



**Figura 2:** Fenología por familia (líneas) y precipitaciones (barras horizontales) de la temporada 2007-2009 (Letras diferentes muestran diferencias significativas, LSD Fisher, alfa=0,05).



**Figura 3:** Conductividad eléctrica de suelos de distintos sub-ambientes en época seca (blanco) y húmeda (gris).



**Figura 4:** Análisis de conglomerados en función a las variables fenológicas.



**ANEXO 10**  
**Dinámica ambiental en Salinas Grandes, Catamarca**  
**(Argentina)**

## Environmental Dynamics in Salinas Grandes, Catamarca, Argentina

Marcos S. Karlin, Omar A. Bachmeier, Antonio Dalmaso,  
José M. Sayago, and Roberto Sereno

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba,  
Valparaíso S/N, Córdoba, Argentina

*Saline systems are open systems where energy and matter fluxes produce modifications in the ecosystem, especially in plant communities, defined by species abundance and plant cover. Based on these changes, it is possible to define vectors that show the tendencies of such communities to reach mature or stationary states and their modifications by natural or anthropic disturbances. Salinity and topsoil thickness dominate the system dynamics. The decrease in soil salinity and the increase in the sandy topsoil horizon thickness would allow installation of new plant populations, a higher biodiversity, ecological resilience, and productive potential. Plant and soil surveys were conducted, establishing several relationships among the studied variables. Lyapunov coefficients ( $L$ ) were calculated as the Euclidean distance of each site from a reference condition, used as exergy of the system. These values were correlated with the electrical conductivity data. The presence of soluble salts in the soils generates adverse conditions for unadapted species, reducing the total amount of biomass of a plant community, and therefore its exergy. When  $L$  decreases in time, it is expected that the system goes towards a steady state. If the contrary occurs, the equilibrium is unstable and becomes less resilient. While primary succession evolves, minimum rangeland requirements increase, depending on the dynamics of the system. According to the relationship between climate, plant cover, and erosive processes, dunes development would increase total biomass and biodiversity. Anthropic degradation, through fire, deforestation, and overgrazing, can produce retrogression of primary or secondary successions through erosive processes and salinization.*

**Keywords** biodiversity, Lyapunov coefficients, minimum rangeland requirement, salinity, steady state, topsoil thickness

An ecosystem is an open system that exchanges energy and matter with the surrounding environment. These fluxes produce changes in space and time, modifying the plant communities. Based on these changes, it is possible to define vectors that show the tendencies of communities to reach mature or stationary states and their modifications by natural or anthropic disturbances. Such ecosystems can be described as systems defined by  $n$  components affected by  $m$  variables (Jørgensen & Svirezhev,

Received 18 September 2010; accepted 25 March 2011.

Address correspondence to Marcos S. Karlin, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Valparaíso S/N, Ciudad Universitaria, C.P. 5000, C.C. 509, Córdoba, Argentina. E-mail: mkarlin@agro.unc.edu.ar

2004). This concept is based on the observation and analysis of its state in the space and time.

Saline systems are important ecosystems from the point of view of the use and conservation of plant and animal species. Some sub-environments in these ecosystems occur in depressed areas, forming soil patches where different plant populations develop. Development of these populations is related to the environmental thermodynamics of the ecosystem: soluble salts have an important influence over plant populations, increasing soil osmotic potentials and reducing the ability of plants to absorb water (Richards, 1973) by a reduction of its free energy.

These patches form a physical barrier against wind and water, accumulating materials transported by these agents (Gutierrez Elorza, 2008), modifying soil conditions and allowing the installation of plant species less adapted to high salt contents (Ruiz Posse et al., 2007). In this sense, the presence of patches in ecosystems of arid and semiarid zones generates microclimates in which some plant species use resources by applying different strategies (Whitford, 2002).

The region of Salinas Grandes (Catamarca, Argentina) occurs as a mosaic where water, vegetation, and fauna are important resources necessary for the development and social reproduction (processes which sustain a given social structure or tradition over a period of time) of local communities. In this region, two great environments can be distinguished, corresponding to highlands and lowlands, and within them six zones (sub-environments) are identified (modified from Ruiz Posse et al., 2007), which differ in topography, soil characteristics, vegetation, and use. Identified zones are:

- Low areas: Salinas (S), Vegetated Salinas (VS), Waterlogged plains (WP), Salt Affected Forests (SAF).
- High areas: Dunes (D), Slightly Salt Affected Forests (SSAF).

In the study area, species from the Chaco and Monte phytogeographical regions coexist (Ragonese, 1951). Vegetation presents changes in its composition between the saline coast and the central plains, related to a positive salt content gradient in the soil (Cabido et al., 1992; Ragonese, 1951).

The hypothesis of this work is that soils with less salinity and greater sandy topsoil horizon thickness in Salinas Grandes (Catamarca, Argentina) will have plant communities with a higher biodiversity, greater ecological resilience, and greater productive potentials, due to the increase of free energy.

The main objective is to explain the dynamics of plant communities from a thermodynamic point of view, evaluating the stability of each sub-environment and its potential productivity.

## Materials and Methods

### *Study Area*

The study area is located in the southernmost portion of the Province of Catamarca, the settled borders being National Routes No. 60 and No. 157 on the east, Provincial Route No. 20 on the north, and the political borders with the Provinces of La Rioja and Córdoba on the west and south respectively (Figure 1). It covers an area of 400,000 ha, including "alluvial plains," "Salinas," and "playas" geofoms (Miró et al., 2005), with an elevation above sea level ranging from 175 to 210 m (Ruiz Posse

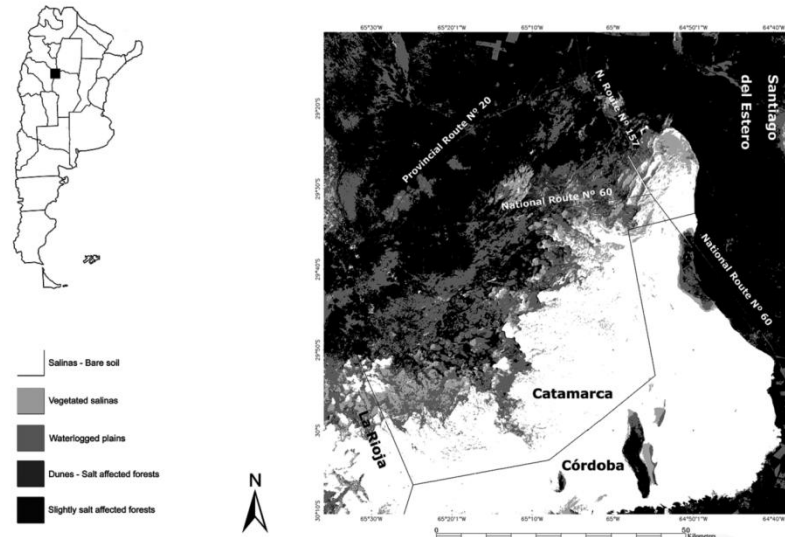


Figure 1. Environmental map of Salinas Grandes.

et al., 2007). Extreme geographical coordinates are  $29^{\circ}16'17''\text{S}$   $65^{\circ}03'25''\text{W}$  on the north,  $29^{\circ}36'30''\text{S}$   $65^{\circ}31'47''\text{W}$  on the west,  $29^{\circ}36'24''\text{S}$   $64^{\circ}50'55''\text{W}$  on the east, and  $30^{\circ}07'14''\text{S}$   $65^{\circ}24'43''\text{W}$  on the south.

The area is characterized by continental, mesothermal, semi-arid climate with dry winters, high thermal ranges, important rainfall oscillations, and high evapotranspiration rates. Average annual precipitations oscillate between 300 and 500 mm, occurring mainly from November to March, while the driest months are June, July, and August (Ruiz Posse et al., 2007). Annual potential evapotranspiration is 950 mm, resulting in water deficit throughout the year (Zamora, 1990). Average annual temperature is  $20.5^{\circ}\text{C}$  (Dargám, 1995), with absolute maximum and minimum temperatures of  $42$  and  $-6^{\circ}\text{C}$ , respectively. Frosts occur between April and September, although at low frequency (Ruiz Posse et al., 2007). Winds are relatively frequent and run generally from northeast to southwest and from east to west during the driest months (Ragonese, 1951).

Soils differ between zones by soluble salt content. Soils of low areas present higher soluble salt content, manifested by the presence of saline crusts and halophyte plants, differing from those of high areas. Low areas present silty clay topsoil horizons, while in high areas sandy loam soils predominate (Ruiz Posse et al., 2007).

### *Vegetation Survey*

Based on preliminary observations (Ragonese, 1951) and field surveys, 250 species were identified in the study area during 2005–2008. Preliminary observations suggested that vegetation is correlated with physiognomy; for this reason a stratified random sampling method (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974) was employed.

Seventy floristic surveys were conducted, in approximately 1 ha each, inside the study area, based on the Braun Blanquet Phytosociological method (Braun-Blanquet, 1979; Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974; Roig, 1973). Fifty sites corresponded to low areas and twenty sites corresponded to high areas. The number of surveys depended on the variability in the number of species.

Out of all 70 floristic surveys, 27 representative sampling sites were selected, classified by VS, WP, SAF, SSAF, and D zones, based on the floristic homogeneity, the number of species, and topographic position. The minimum threshold surface area of each sampling site was defined by the occurrence of 95% of the sum of all recognized species for each zone, based on the previous floristic surveys (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974). One of these sites corresponds to a burned forest (F) identified in the region. Values of abundance-dominance were transformed into percent cover values based on the midpoint of each value on the cover-abundance scale (Wikum & Shanholtzer, 1978):

+: very rare or rare individuals with negligible cover: 0.5%

1: abundant individuals, but with negligible cover: 2.5%

2: individuals in any number, but covering up to 1/4 of the surface area: 15%

3: individuals in any number, with cover ranging from 1/4 to 1/2 of the surface area: 37.5%

4: individuals in any number, with cover ranging from 1/2 to 3/4 of the surface area: 62.5%

5: individuals in any number, with superior cover of 3/4 of the surface area: 87.5%

Frequency and cover measurements were made at each sampling site, by using the modified Point Quadrat method (Passera et al., 1986; Daget & Poissonet, 1971; Levy & Madden, 1933), identifying each sampled species, obtaining values that were compared with those of abundance-dominance. This method is based on the determination of the Forage Cover ( $Cov$ ) and the Minimum Rangeland Requirement ( $MRR$ ) (Passera et al., 1986), by obtaining the Specific Contribution by Contact ( $SCC_i$ ), defined as the ratio between the number of contacts ( $C_i$ ) of one species and the sum of the contacts of all surveyed species over 100 points in a transect of 30 m. Afterward, a Pastoral Value ( $PV$ ) is determined as a synthetic expression of the forage capacity of the plants, expressed as Units of Pastoral Value ( $UPV\ ha^{-1}$ ).  $PV$  is determined by attributing to each species an Index of Specific Quality ( $ISQ_i$ ), varying between 1 for species of low forage quality and 10 for species of high forage quality. This index is based on the nutritive value, palatability, life form, and moment of use (Passera & Borsetto, 1986). Minimum rangeland requirement is calculated through the following formulas:

$$SCC_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \times 100 \quad (1)$$

$$PV = 0.1 \times \left( \sum_{i=1}^n SCC_i \times ISQ_i \right) \times Cov, \quad \text{expressed as } UPV\ ha^{-1} \quad (2)$$

$$MRR = \frac{100}{PV}, \quad \text{expressed as } ha\ CE^{-1} \quad (3)$$



where *CE* is the Cow Equivalent, defined as the amount of forage needed to maintain a 400 kg cow with a 120 kg calf (1 CE). A cow equivalent is maintained by 100 UPV.

For these determinations, only the data from 25 sites were used due to accessibility difficulties during the rainy season. The modified Point Quadrat method (Passera et al., 1986) is the one that best suits to local conditions because it was validated for local species.

### Soil Survey

Soil pits of 1 m depth and check soil pits of variable depth were dug on all 27 sites previously selected, representing different zones, identifying soil horizons and textural classes by feel analysis (Yolcubal et al., 2004). Sandy topsoil horizon thickness was measured at the moment of excavation of the pits and check pits. At each site, soil sampling was performed by randomly collecting 12 to 15 sub-samples per site from the identified topsoil and subsoil horizons, covering the whole area of the patch, defined by the vegetation. Sub-samples were bulked into one sample per site. Electrical conductivity of a soil/water suspension (1:1 soil:water ratio) from each site and horizon was determined (Richards, 1973) for the rainy and dry season.

### Mathematical and Statistical Analysis

Statistical analyses were conducted with quantitative data on vegetation and soil using Infostat statistical software (Di Rienzo et al., 2007).

Average values between rainy and dry season were calculated for electrical conductivity for each site and horizon. Average electrical conductivity values of the horizons included in the 0–20 cm depth were used to calculate a weighted average, obtaining a mean value of electrical conductivity for each site.

Shannon-Weaver diversity index was calculated (Begon et al., 2006; Wikum & Shanholtzer, 1978) for each zone based on vegetation abundance-dominance data.

This Index was developed based on Boltzman's thermodynamic concepts (Begon et al., 2006; Jørgensen & Svirezhev, 2004; Wikum & Shanholtzer, 1978; Odum, 1972):

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (4)$$

where  $p_i = N_i / \sum_{i=1}^n N_i$ ,  $n$  is the number of species in the community and  $N_i$  is the size of the population, defined by its relative frequency or cover as suggested by Wikum and Shanholtzer (1978).

For each zone, characteristic or indicator populations were defined through an ANOVA test (LSD Fisher,  $p < 0.05$ ), comparing their relative frequency in each environment.

For construction of the growth curves for each indicator population, smoothing of a locally weighted regression (LOWESS) was applied, adjusted in relation to electrical conductivity, synthesizing the relationship between salinity and the relative frequency of each population (Di Rienzo et al., 2007).

Lyapunov coefficients, defined as "a property of system behavior in neighborhoods of equilibria" (Justus, 2008), were calculated as the Euclidean distance of each

site from a theoretical reference condition, measured by the relative frequencies of each population. The distance between the equilibrium situation (or maximal relative frequency expected of the  $i$ th population,  $N_i^*$ ) and the current situation (current size of the  $i$ th population,  $N_i$ ), is considered as the perturbation of the system (Justus, 2008) from the reference state. The theoretical reference condition was obtained by selecting for each species, within a site, the highest abundance-dominance value observed for all sites. This calculation was performed for all 26 quasi-undisturbed sites, that is, zones with low anthropic impact, such as wood extraction or grazing activities (we discarded the burned forest site because it showed outliers, compared with the original situation). Only 95 species were selected for the analyses, discarding those of low abundance-dominance. Reference values, known as the theoretical maximal carrying capacity of each population, correspond to  $N_i^*$  in the following Lyapunov coefficient (Jørgensen & Svirezhev, 2004):

$$L = \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n (N_i - N_i^*)^2} \right]^2; \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

where  $N_i$  is the current situation for the  $i$ th population in each site.

An example for the calculation of this index is shown:

Suppose a community with two populations ( $i$ );  $I=1$  with a relative frequency of 0.25 and  $I=2$  with 0.001, and the maximal values obtained in the whole system for both populations,  $i^*=1$  with a relative frequency of 0.5 and for  $i^*=2$  a value of 0.05, and adding a third population present in another zone,  $i^*=3$  with a frequency of 0.25, then the  $L$  value for the example community is:

$$L = \left[ \sqrt{(0.25 - 0.5) + (0.001 - 0.05) + (0 - 0.25)} \right]^2 = 0.549.$$

These values were correlated with soil electrical conductivity data for the analysis of the effect of soil soluble salts over the stability of the communities, obtaining a linear relationship. After this, the function was corrected by modifying its y-intercept value, maintaining the same slope, coinciding with the lowest  $L$  value, that is, the least perturbed site, intersecting the function, obtaining a function that shows the theoretical reference state of the communities for each value of electrical conductivity.

Lyapunov coefficients were also correlated with the Shannon-Weaver diversity index in order to see analogies and differences between these two indicators. Electrical conductivity was correlated with data on sandy topsoil horizon thickness and with the Shannon-Weaver diversity index for the analysis of the relations between each of these two physical variables and the behavior of the communities. Electrical conductivity and Lyapunov coefficients were correlated with minimum rangeland requirement values, obtaining relations that might be useful for the prediction of adequate cattle receptivity for each zone.

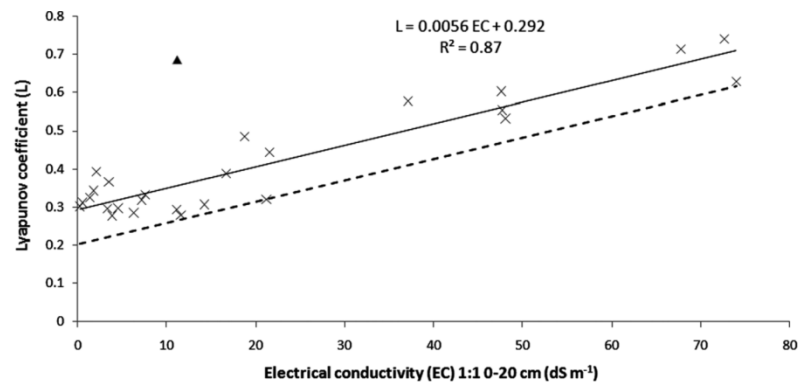
For all determinations the number of samples was 27, except for minimum rangeland requirement, where only 25 samples were taken, due to accessibility difficulties.

## Results

For the study area, in the case shown in Figure 2, the values of  $L$  (Eq. (5)) are observed for each surveyed site related to the measured electrical conductivity.  $L$  values relate the current plant cover of each population to its theoretical stable situation (see Appendix), that is, each  $N_i$  corresponds to plant cover in the real situation and  $N_i^*$  constitutes the maximum plant cover value for such population assuming this as the most stable situation. This  $N_i^*$  constitutes an attractor for each population.  $n$  is the number of populations in each determined zone.

Observing Figure 2, two kinds of analysis can be made. On the one hand, the  $L$  parameter can be evaluated as the distance of each zone to its hypothetical steady state (see Appendix), which it can possibly reach if certain ecological conditions are fulfilled (Odum, 1972). If we assume a situation in which a determined zone has no natural vegetation, this constitutes a thermodynamic equilibrium, with maximum entropy and minimum exergy (see Appendix). We suppose that the evaluated sub-environments change toward a more stable theoretical situation (Odum, 1972) with higher exergy accumulation (toward an attractor), for example to zones such as a “slightly salt-affected forest” or a “dune,” both with higher biomass accumulation. In this case a (theoretical) primary succession is evaluated in space, considering the attractor as a sort of climatic equilibrium (see Appendix).

On the other hand, it is possible to estimate how far each site is from the most stable situation corresponding to each value of soil electrical conductivity; that is, it is possible to evaluate anthropic degradation for every site. This analysis can be made through a linear regression, which indicates the average value of the analyzed situations. The farthest point from the linear function, with the lowest  $L$  value (higher exergy) related to soil electrical conductivity, is considered to be the least disturbed site. Therefore, it is possible to move the y-intercept of the linear function making it pass through this point (Figure 2, dotted line). This constitutes a reference case. The distance of each situation with respect to the baseline is a measure of disturbance related to each value of electrical conductivity, allowing assessment of secondary successions, reaching a situation ( $N_i^*$ ) of edaphic equilibrium (see Appendix),



**Figure 2.** Linear relationship between Lyapunov coefficients ( $L$ ) and electrical conductivity ( $EC$ ). Black triangle: burned forest. Dotted line: reference situation.



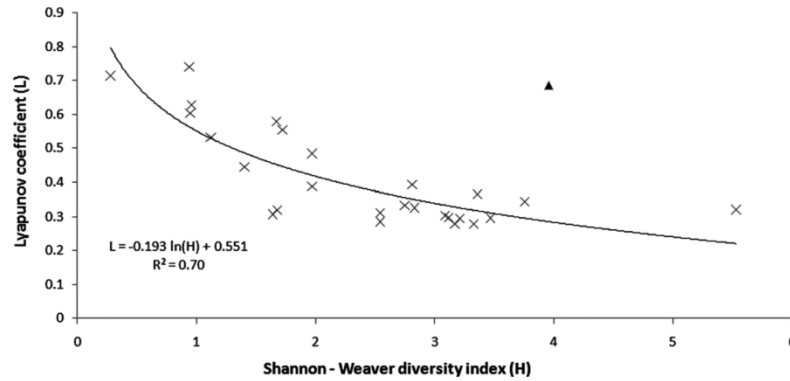


Figure 3. Nonlinear regression between Lyapunov coefficients ( $L$ ) and Shannon-Weaver diversity index ( $H$ ). Black triangle: burned forest (excluded from curve fitting).

or at least a situation nearer this equilibrium. The slope of the linear function indicates the “velocity” of the primary succession ( $L/EC$ ).

A contrasting case of a burned forest has been added, which originally corresponded to a “slightly salt-affected forest.” Such case shows two substantial changes. On the one hand, considering the average electrical conductivity values of the original zone, the value increased from 2.18 dS/m to 11.22 dS/m, which can be seen as retrogression in the primary succession.

On the other hand, its  $L$  value is the farthest from the baseline, indicating that it requires a great investment of exergy in order to return to its original situation. If we take both extremes (burned forest and least disturbed situation), both present the highest biodiversity values measured by the Shannon-Weaver index (3.96 and 5.53, respectively) (Figure 3) indicating that a high biodiversity value does not necessarily translate as a stable environment (Tilman, 1996; Shafi & Yarranton, 1973).

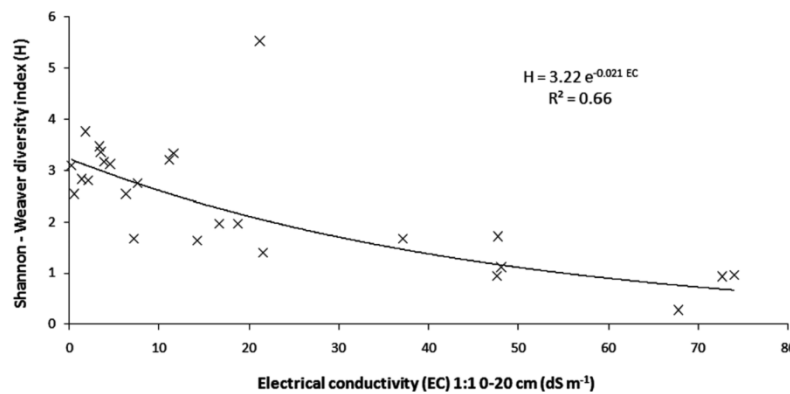
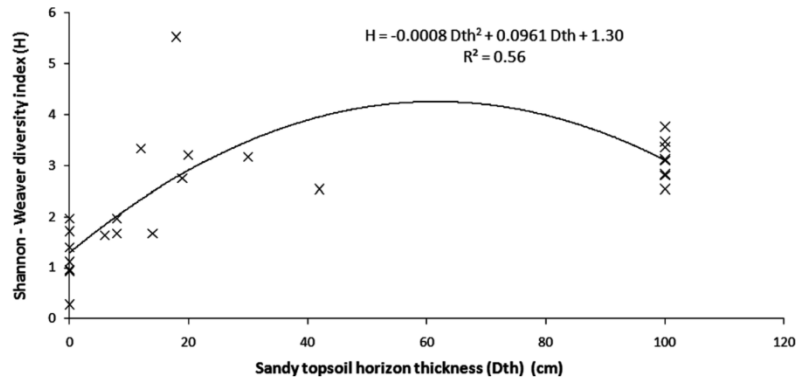


Figure 4. Nonlinear regression between Shannon-Weaver diversity index ( $H$ ) and electrical conductivity ( $EC$ ).

Downloaded by [Marcos Karlin] at 06:33 27 August 2011

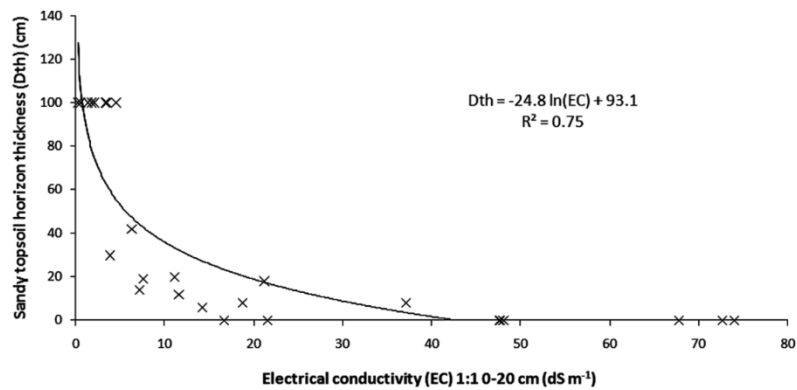


**Figure 5.** Nonlinear regression between Shannon-Weaver diversity index ( $H$ ) and sandy topsoil horizon thickness ( $Dth$ ).

In Figure 2, the  $R^2$  value indicates the level of the whole system's degradation. A closer value to 0.99, and nearer to the baseline, would show that the ecosystem is pristine. A site farther from the baseline means a more disturbed zone.

If the Lyapunov coefficient ( $L$ ) and Shannon-Weaver diversity index ( $H$ ) are regressed (Figure 3) without the burned forest case, a clear tendency can be observed toward a diminishing  $L$  value and a rising  $H$  in environments that present less disturbance, obtaining an  $R^2 = 0.70$ . However, when the burned forest case is considered,  $R^2$  reduces to 0.35.

It is clear that the diversity of plant communities depends on the amount of soluble salts present in the soil (Figure 4) and on the sand deposition on the topsoil horizon (Figure 5) (Ruiz Posse et al., 2007). Noteworthy is the relationship between electrical conductivity and sand accumulation (Figure 6). Electrical conductivity decreases with increasing thickness of the sandy surface horizon.



**Figure 6.** Nonlinear regression between sandy topsoil horizon thickness ( $Dth$ ) and electrical conductivity ( $EC$ ).

## Discussion

### *Succession Dynamics*

In saline systems, plants must use high exergy reserves (energy of high quality) to equate soil osmotic potential in order to absorb water. In these cases, soluble salts constitute an impediment to plant biomass formation, increasing the system's entropy. This effect would be compensated in part through adaptation of the species, quantified as genetic information. Therefore, reduction of biomass in a sub-system is sometimes compensated with an increment of information present in the genes (Sherwin, 2010).

The presence of soluble salts in soils generates adverse conditions for unadapted species, reducing the total amount of biomass in the sub-system and, therefore, its exergy. This biomass reduction is related to a decrease in richness and biodiversity (Begon et al., 2006).

According to several authors (Odum, 1972; Patten, 1959; Margalef, 1956), if biodiversity is high, the system gains stability. Therefore, when a community moves toward a climax (or more correctly, steady state; see Appendix), its diversity increases (Table 1).

However, the facts show that this does not always occur. A clear example is what happens after forest fires (Figures 2 and 3), where the system experiences the invasion of opportunist species ( $r$ ) (Begon et al., 2006; Odum, 1972), temporarily increasing its biodiversity. Such species are later replaced by species with higher interspecific competition capacity ( $K$ ). It is possible that after a fire disturbance, diversity fluctuates despite the system's recovery (Shafi & Yarranton, 1973), and such diversity depends on the interspecific competition capacity. Thus, abundance and plant cover of some populations take higher values than those of the maximum carrying capacity calculated for quasi-natural conditions, increasing the Euclidean distance from the steady state.

Compared with the burned site, the least disturbed site (with higher biodiversity index) has predominance of  $K$  strategy species (Begon et al., 2006), most of them being perennial species, making a more stable zone. By being nearer to a steady state, abundance-cover values are closer to the maximal carrying capacity calculated for quasi-natural conditions.

Tilman (1996) concludes in his paper that species diversity has a clear and significant effect on resistance to disturbance, but an equivocal one on the recovery rate from a disturbance. Possibly, the diversity index can be a good indicator of primary successions, but not of secondary successions. Owing to this, biodiversity indicators would not be adequate to define stability of a system. Neither would they be satisfactory for assessing ecological successions.

Lyapunov coefficients ( $L$ , already defined) could be interesting indicators instead of biodiversity.

The coefficient  $L$  can be considered as the square of the Euclidean distance between the current state of the system and its (dynamic) equilibrium. If  $L$  decreases in time, then according to the stability theorem of Lyapunov, it is expected that the system moves towards a steady state. If the contrary occurs, equilibrium is unstable (Jørgensen & Svirezhev, 2004) and becomes less resilient (Figure 2).

According to field observations and analogous studies to other succession records (Méndez, 1993; Odum, 1972; Watt, 1947), spatial changes in our study area

**Table 1.** Synthetic phytosociological table of Salinas Grandes. VS: Vegetated Salina, WP: Waterlogged Plain, SAF: Salt-affected Forest, SSAF: Slightly Salt-affected Forest, D: Dune, F: Burned Forest. Bordered areas indicate representative species for each zone. (\*): Indicator species. Bold formatting indicates soil and plant variables for each zone.

Zones	VS (n=7)	WP (n=3) with low <i>Stetsonia coryne</i> freq.	WP (n=4) with high <i>Stetsonia coryne</i> freq.	SAF (n=4)	SSAF (n=4)	D (n=4)	F (n=1)
<b>Great Soil Groups and Soil Sub-Groups (Soil Survey Staff, 2006)</b>	Calcic Aquisalids and Gypsic Haplosalids	Calcic or Gypsic Haplosalids	Calcic Haplosalids	Calcic Haplosalids	Ustiorrents and Torriortents	Ustic or Typic Torripsaments	Typic Torriortent
<b>Plant cover (%)</b>	18-45	81	82	88	95	83	86
<b>Average Shannon-Weaver Index</b>	1.09+/-0.49	1.78+/-0.33	2.90+/-1.83	3.06+/-0.36	3.06+/-0.39	3.19+/-0.45	3.96
<b>Average electrical conductivity (dS/m)</b>	56.4+/-14.7	19.0+/-2.48	12.6+/-6.57	8.23+/-3.77	2.18+/-2.12	2.22+/-0.90	11.2
<b>Depth range of sandy topsoil (cm)</b>	0-8	0-8	6-19	12-42	>100	>100	>100
<i>Heterostachys ritteriana</i> (Moq.) Ung.-Sternb.*	3	1					
<i>Allenrolfea patagonica</i> (Moq.) Kuntze	3						
<i>Monanchole acerosa</i> (Griseb.) Speg.	1	+					
<i>Lippia salsa</i> Griseb.	1	+		1	+	1	3
<i>Tephrocactus weberi</i> (Speg.) Backeb.	1			1			

<i>Sporobolus pyramidalis</i> (Lam.) Hitchc.	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Alternanthera nodifera</i> (Moq.) Griseb.	1	1	+	1	1	1	1	1	2
<i>Prosopis reptans</i> Benth.	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Grahamia bracteata</i> Hook. & Arn.	1	+	1	1	1	1	+	1	1
<i>Plectrocarpa tetraacantha</i> Gillies ex Hook. & Arn.	+	+	1	1	1	1	+	1	1
<i>Opuntia sulphurea</i> Gillies ex Salm-Dyck	+	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Trichloris crinita</i> (Lag.) Parodi	1	1	1	1	1	1	2	1	1
<i>Opuntia quinilo</i> K. Schum.	+	+	1	1	+	1	1	1	+
<i>Erhetia cortesia</i> Gottschling	+	1	1	1	1	1	1	+	1
<i>Cyclolepis genistoides</i> D. Don*	+	2	1	1	1	1	+	+	1
<i>Atriplex argentina</i> Speg.*	+	2	4	3	3	3	+	+	2
<i>Maytenus vitis-ideae</i> Griseb.	+	1	3	3	3	3	1	1	3
<i>Stetsonia coryne</i> (Salm-Dyck) Britton & Rose*	1	1	3	3	3	3	1	2	3

(Continued)

**Table 1.** Continued

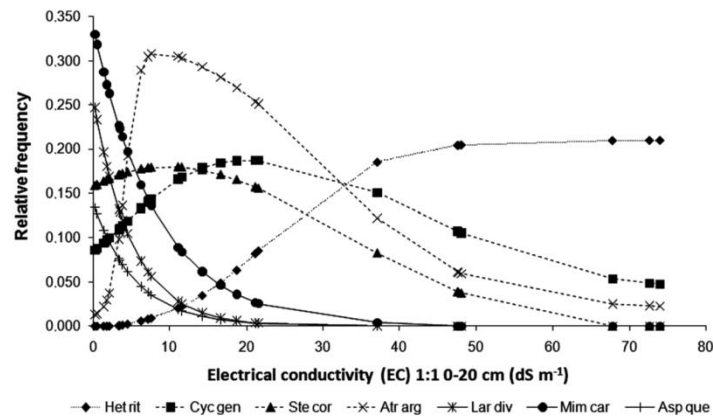
Zones	VS (n = 7)	WP (n = 3) with low <i>Stetsonia</i> <i>coryne</i> freq.	WP (n = 4) with high <i>Stetsonia</i> <i>coryne</i> freq.	SAF (n = 4)	SSAF (n = 4)	D (n = 4)	F (n = 1)
<i>Geoffroea decoricans</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart		+	3	3	1	1	2
<i>Lycium</i> spp.			1	1	1	2	1
<i>Suaeda divaricata</i> Moq.			1	1	1		
<i>Mimozyanthus</i> <i>carinatus</i> (Griseb.) Burkart*			3	3	2	3	2
<i>Gymnocalycium</i> <i>delatetii</i> (K. Schum.) Hosseus				1	+		
<i>Bromelia urbaniana</i> (Mez) L.B. Sm.		+		1	+	1	
<i>Larrea divaricata</i> Cav.*				+	2	3	
<i>Aspidosperma</i> <i>quebracho blanco</i> Schltdl.*				+	1	2	3
<i>Solanum eleagnifolium</i> Cav.							3
<i>Cercidium praecox</i> (Ruiz & Pav. Ex Hook.) Harms				+	2	+	+



are correlated to geomorphological processes. If we identify the different zones relative to a virtual transect of decreasing salinity, it is possible to identify changes from “salinas” (with maximum electrical conductivities and total lack of vegetation) to “slightly salt-affected forests” (with minimum electrical conductivities, greater sandy topsoil horizon thickness, and maximum plant cover) (Figures 4, 5, and 8). While we ascend topographically, lower salt contents can be found, with some indicator species (defined through an ANOVA test, LSD Fisher,  $p < 0.05$ ) appearing from the center of the basin, such as *Heterostachys ritteriana* (Ragonese, 1951), which define the zone “vegetated salina.” Following the transect, communities of *Cyclolepis genistoides* and *Atriplex argentina* appear, defining the “waterlogged plains.” At this point, sand accumulation on soil surface becomes important (Table 1), reducing soil salt contents (Figure 6) and enabling the installation of *Stetsonia coryne* populations. This species develops on a sandy horizon at least 6 cm thick (LSD Fisher,  $p < 0.05$ ). Following the transect, communities of *Mimozyanthus carinatus* appear on higher ground, defining the “salt-affected forests,” and then the “slightly salt-affected forests” predominantly with *Aspidosperma quebracho blanco* and *Larrea divaricata* populations (Table 1 and Figure 7). The mentioned species are those that present greater relative frequencies, defining the different zones by its combinations.

In Figure 7 it is possible to see the different dominant populations, related to a growing salinity gradient, defining different communities. These communities can be classified as “increasing” (communities of *Heterostachys ritteriana*), “intermediate” (communities of *Cyclolepis genistoides*, *Atriplex argentina* and *Stetsonia coryne*) or “decreasing” (communities of *Mimozyanthus carinatus*, *Larrea divaricata* and *Aspidosperma quebracho blanco*). This enables us to define three great classes for environmental management, based on salinity and sandy topsoil horizon thickness.

Species in the “vegetated salinas” act as barriers against the wind, accumulating the particles transported by deflation of the saline basin (Gutierrez Elorza, 2008),



**Figure 7.** Relative frequency curves in relation to soil electrical conductivity (EC). *Heterostachys ritteriana*: Het rit; *Cyclolepis genistoides*: Cyc gen; *Stetsonia coryne*: Ste cor; *Atriplex argentina*: Atr arg; *Larrea divaricata*: Lar div; *Mimozyanthus carinatus*: Mim car; *Aspidosperma quebracho blanco*: Asp que.



where consequently, less halophyte species settle. In higher ground areas, sand accumulation also occurs due to the effect of higher ground slopes and local vegetation. Also, during the rainy season, dunes are eroded and sands are transported by runoff and deposited on lower lands.

It is then possible to schematize the ecosystem dynamics (Figure 8).

Related to these processes, the dynamics of the sub-environments depends on climate conditions and plant cover which regulate erosion processes.

We assume that if successive years occur with rainfall above the historical average, and the plant cover is low due to anthropic degradation, erosion processes, runoff and deposition would occur in lowlands, evolving to WP and SAF zones characterized by the development of a thin layer of sand and intermediate species predominance. If successive years occur with rainfall below the historical average, reactivation of dunes would be possible, reducing water erosion and favoring deflation and sand accumulation due to a drop of the water table under the basin which controls the aeolian erosion. However, dune stabilization requires biomass production, which obviously needs water. Therefore, during this dry succession, a yearly fluctuation between dry and wet seasons would be necessary for this process to occur, with long dry seasons (autumn, winter, and spring) and major concentration of rain in summer, when plants are phenotypically more active (Karlin et al., 2010). To prevent the dunes from being destroyed by rain, installation of rapid-growth species (*r* type) is required to reduce run-off erosion effects and backward primary succession. Low intensity and high frequency precipitations would favor dune stabilization.

It is possible through erosion / deposition processes that zones evolve towards a stationary state depending on the predominant climate (climatic equilibrium). The zone of "slightly salt-affected forest" develops on alluvial fans with materials such as coarse and medium-grained sands, different than the materials accumulated

Downloaded by [Marcos Karlin] at 06:33 27 August 2011

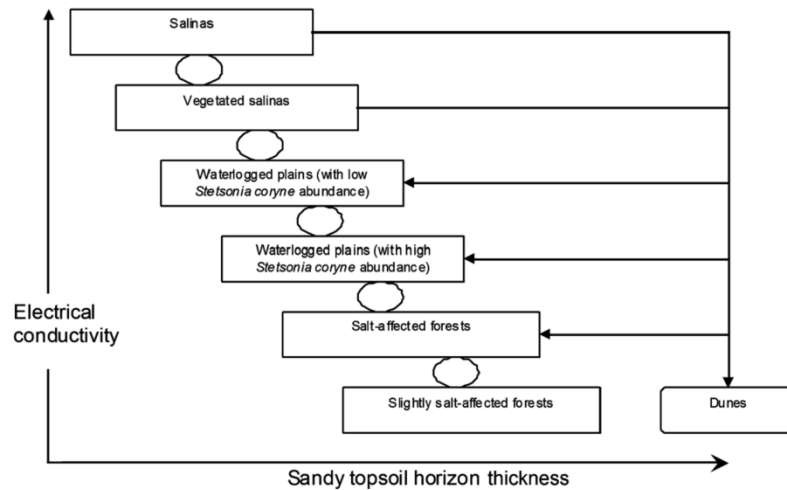
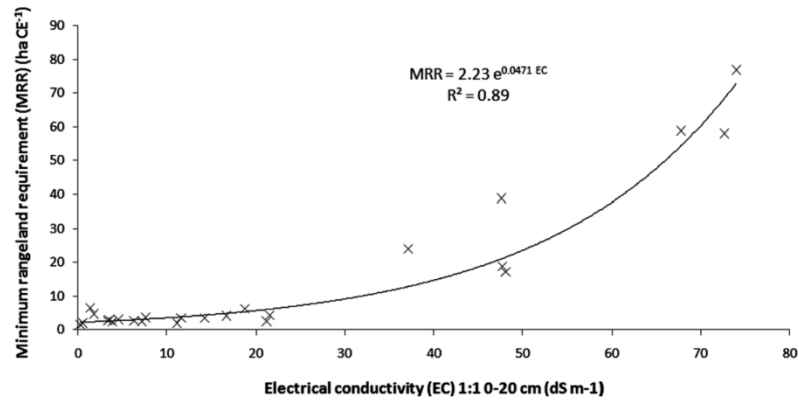


Figure 8. Scheme of the relationship between considered zones and edaphic variables.

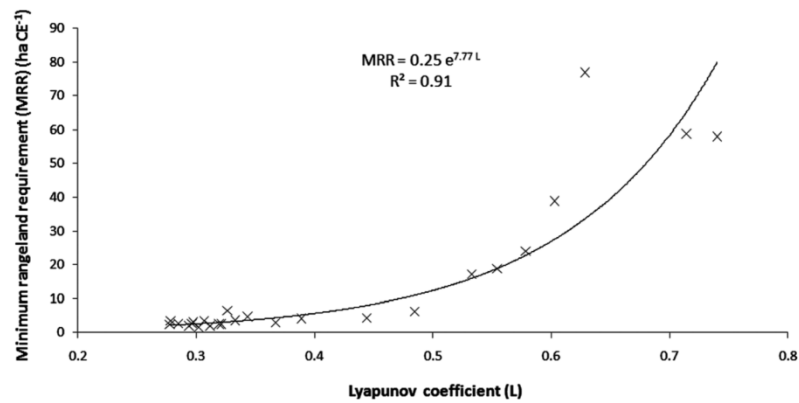


**Figure 9.** Nonlinear function of minimum rangeland requirements (*MRR*) related to electrical conductivity (*EC*).

superficially in other zones. Therefore, it is possible to remove this zone from the present succession scheme and consider it as another climatic succession.

#### *Agronomic Importance of the Discussed Concepts*

It is possible to relate the variables electrical conductivity (as a measure of the system's entropy) and Lyapunov coefficients (as a measure of its exergy) to the minimum rangeland requirement values obtained through the Point Quadrat method, defining predictive functions through variables of rapid measurement, establishing the functionality of each point of the study basin. Functions of Figures 9 and 10 fit well with  $R^2$  of 0.89 and 0.91, respectively. These high  $R^2$  values allow certain confidence in the predictions.



**Figure 10.** Nonlinear function of minimum rangeland requirements (*MRR*) related to Lyapunov coefficients (*L*).

Apparently, the reduction of soil salinity while we ascend topographically enables the installation of species with higher biomass forming physical barriers against the wind and the water. This process enables the accumulation of materials transported by these agents. The topsoil sand deposition allows plants to absorb water easily. If species are eliminated by overgrazing or severe deforestation, plant cover is reduced and soil is susceptible for erosion. Groundwater rise affects the installation the plants, however, the topsoil sandy horizon reduces capillary rise.

It is logical to think that while the theoretical primary succession evolves, minimum rangeland requirements increase, depending on the dynamics of erosion-deposition processes. According to the relationship between precipitation and plant cover, and the corresponding results of run-off erosion, dune development would increase total biomass and biodiversity.

Anthropic degradation, through fire, deforestation and overgrazing, can produce retrogression of primary or secondary successions through erosion processes and salinization.

### Conclusions

The presence of soluble salts in the soils in saline areas reduces the ability of plants to absorb water by reducing its free energy. A lesser available free energy means low plant richness and biodiversity. Biodiversity can be calculated by the abundance and cover of plants as approximations of their total biomass and, therefore, its stored energy. Higher plant cover in a community means higher values of exergy (high quality energy) represented by the energy stored in plant tissues. Exergy can be estimated by the Lyapunov exponents as a measure of the stability of the system. This exponent allows to measure disturbances in any surveyed site within the ecosystem, defining its distance from reference conditions and indicating primary and secondary successions. Biodiversity indexes can also be useful for primary successions but fail to predict secondary successions.

Retrogressions in the primary successions are related to the increase of soil salinity and reduction of the topsoil sandy horizon thickness. The retrogression in the primary and secondary successions, measured by an increase of electrical conductivity and Lyapunov exponents, is related to the reduction of the minimum rangeland requirements and, therefore, its productive potential.

### References

- Ball, D. W. 2004. *Fisicoquímica*. International Thompson Editores, Mexico, D.F.
- Begon, M., C. R. Townsend, and J. L. Harper. 2006. *Ecology. From individuals to ecosystems*. Blackwell Publishing Ltd., UK.
- Braun-Blanquet, J. 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Ed. Blume, Madrid.
- Cabido, M., M. Acosta, M. L. Carranza, and S. Díaz. 1992. La vegetación del Chaco Árido en el oeste de la provincia de Córdoba, Argentina. *Documents Phytosociologiques* 14: 447–459.
- Clements, F. E. 1936. Nature and structure of the climax. *Journal of Ecology* 24: 252–284.
- Daget, Ph., and J. Poissonet. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies, critères d'application. *Annales Agronomiques* 22: 5–41.

- Dargám, R. M. 1995. Geochemistry of waters and brines from the Salinas Grandes basin, Córdoba, Argentina. I. Geomorphology and hydrochemical characteristics. *International Journal of Salt Lake Research* 3: 137–158.
- Di Rienzo, J., F. Casanoves, L. Gonzalez, M. Tablada, C. Robledo, and M. Balzarini. 2007. *Infostat*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Statistical software.
- Flos, J. 2005. El concepto de información en la ecología margalefiana. *Ecosistemas* 14(1): 7–17.
- Gutierrez Elorza, M. 2008. *Geomorfología*. Pearson – Prentice Hall, Madrid.
- Jørgensen, S. E., and Y. M. Svirezhev. 2004. *Towards a thermodynamic theory for ecological systems*. Elsevier Ltd., Amsterdam.
- Justus, J. 2008. Ecological and Lyapunov stability. *Philosophy of Science* 75: 421–436.
- Karlin, M. A. Contreras, U. Karlin, and R. Coirini. 2010. Fenología reproductiva de especies vegetales de Salinas Grandes, Catamarca (Argentina). *Revista Zonas Áridas* 14(1): 233–253. In Press.
- Levy, B., and E. Madden. 1933. The point method of pasture analysis. *New Zealand Journal of Agriculture* 46: 267–279.
- Margalef, R. 1956. Información y diversidad específica en las comunidades de organismos [Information and species diversity in communities of organisms]. *Investigación Pesquera* 3: 99–106.
- Margalef, R. 1963. On certain unifying principles in ecology. *The American Naturalist* 897(XCVII): 357–374.
- Méndez, E. 1993. Dinamismo de la vegetación en la Pampa Amarilla, San Rafael, Mendoza. *Muldequina* 1: 73–81.
- Miró, R. C., M. F. Gaido, J. C. Candiani, and C. Aimar. 2005. Hoja geológica de Recreo (2966-IV). *Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Naturales*. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires.
- Mueller-Dombois, D., and H. Ellenberg. 1974. *Aims & methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, New York.
- Odum, E. P. 1972. *Ecología*. McGraw-Hill, Mexico, D.F.
- Park, G. N. 1970. Concepts in vegetation/soil system dynamics – I. Stability, climax, maturity and steady state. *Tuatara* 18(3): 132–142.
- Passera, C. B., and O. Borsetto. 1986. Determinación del “Índice de Calidad Específico”, pp. 80–89, in *Subcomité Asesor del Árido Subtropical Argentino, Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas*. Orientación Gráfica, Buenos Aires.
- Passera, C. B., A. D. Dalmasso, and O. Borsetto. 1986. Método de Point Quadrat modificado, pp. 71–79, in *Subcomité Asesor del Árido Subtropical Argentino, Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas*. Orientación Gráfica, Buenos Aires.
- Patten, B. C. 1959. An introduction to the cybernetics of the ecosystem: The trophic-dynamic aspect. *Ecology* 40(2): 221–231.
- Phillips, J. 1935. Succession, development, the climax, and the complex organism: an analysis of concepts: part II. Development and the climax. *Journal of Ecology* 23(1): 210–246.
- Ragonese, A. E. 1951. La vegetación de la República Argentina. II. – Estudio fitosociológico de las Salinas Grandes. *Revista Investigaciones Agrícolas* 5(1–2): 1–233.
- Richards, L. A. (Ed.). 1973. *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. Limusa, México, D.F.
- Roig, F. A. 1973. El cuadro fitosociológico en el estudio de la vegetación. Contribuciones del Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas. CONICET-Gobierno de Mendoza-Universidad Nacional de Cuyo. *Deserta* 4: 45–67.
- Ruiz Posse, E., U. O. Karlin, E. Buffa, M. Karlin, C. Gai Levra, and G. Castro. 2007. Ambientes de las Salinas Grandes de Catamarca, Argentina. *Muldequina* 16: 123–137.
- Shafi, M. I., and G. A. Yarranton. 1973. Diversity, floristic richness, and species evenness during a secondary (post-fire) succession. *Ecology* 54(4): 897–902.
- Sherwin, W. B. 2010. Entropy and information approaches to genetic diversity and its expression: genomic geography. *Entropy* 12: 1765–1798.

- Soil Survey Staff. 2006. *Keys to soil taxonomy*, 10th ed. USDA-NRCS, US.
- Stone, L., and S. Ezrati. 1996. Chaos, cycles and Spatiotemporal Dynamics in Plant Ecology. *Journal of Ecology* 84(2): 279–291.
- Tilman, D. 1996. Biodiversity: population versus ecosystem stability. *Ecology* 77(2): 350–363.
- Walker, L. R. 2005. Margalef y la sucesión ecológica. *Ecosistemas* 14(1): 66–78.
- Watt, A. S. 1947. Patterns and process in the plant community. *Journal of Ecology* 35(1/2): 1–22.
- Whitford, W. G. 2002. *Ecology of desert systems*. Academic Press, New York.
- Wikum, D. A., and G. F. Shanholtzer. 1978. Application of the Braun-Blanquet Cover-Abundance Scale for vegetation analysis in land development studies. *Environmental Management* 2(4): 323–329.
- Yolcubal, I., M. L. Brusseau, J. F. Artiola, P. Wierenga, and L. G. Wilson. 2004. Environmental physical properties and processes, pp. 207–239, in J. Artiola, I. Pepper, I. M. Brusseau, eds., *Environmental monitoring and characterization*. Academic Press, San Diego, CA.
- Zamora, E. M. 1990. Cartografía, génesis y clasificación de los suelos del Noroeste de la Provincia de Córdoba. Doctoral Thesis. Mimeo. Córdoba, Argentina.

## Appendix

### Theoretical Framework

#### Energy Concepts

The total energy of the system is

$$E = \sum_{i=1}^n N_i * e_i \text{ (Ball, 2004)}, \quad (6)$$

that is, equal to the sum of all species considered ( $N$ ) in the system times the energy ( $e$ ) stored in each one as biomass.

The considered energy of each species is determined by the energy accumulated in its tissues. Such energy is equal to the forage energy (roots, leaves, sprouts, and storage organs consumable by cattle), plus the energy stored in wood. Hence:

$$E = \sum_{f=1}^n N_f * e_f + \sum_{w=1}^n N_w * e_w \quad (7)$$

Considering that the number of species and their stored energy are related to a particular subsystem (i.e., zone), and that there are subsystems that accumulate more biomass than others, it is possible to estimate the abundance and frequency of the species present in each one. Therefore, higher values of abundance, frequency and number of species, should mean a higher stored energy in the considered sub-system (Patten, 1959).

If we consider an energy gradient, given by the differences among total biomass of each sub-system, higher energy differences ( $\Delta E$ ) mean that the differences among the considered subsystems are higher. Lesser energy differences mean that the subsystems are similar (at least from a thermodynamic point of view).

Based on the second and third laws of thermodynamics (Ball, 2004), we can define entropy as the amount of energy in the system that cannot be used to produce

work. Entropy, originally defined by Boltzmann from the statistical standpoint for the study of ideal gases, can be used to define “the order of the universe” (system under study), studying the distribution of the gas particles in a closed container:

$$S = k \ln \Omega \text{ (Ball, 2004; Patten, 1959),} \quad (8)$$

where  $S$  is the entropy,  $k$  is the Boltzmann constant, and  $\Omega$  is the number of possible microstates (the different possible configurations of the particles in the container) of the system. With a higher number of possibilities, disorder increases.

Within a system, the derivative of entropy ( $d_i S$ ) can only grow, so:

$$d_i S \geq 0, \quad (9)$$

entropy being a spontaneous process, while entropy exchange between the system and the surrounding environment ( $d_e S$ ) can be positive, negative, or zero, defining the entropy differential ( $dS$ ) as:

$$dS = d_i S + d_e S \quad (10)$$

Therefore, the entropy of the system can increase, decrease or remain constant. This fact can be achieved in ecological systems by entropy pumping through photosynthesis and biomass accumulation (Patten, 1959).

An opposite concept to entropy is exergy and information availability (Jørgensen & Svirezhev, 2004; Patten, 1959). Energy has different qualities, that is, availability for being used, and can be measured by exergy.

The dynamics of a system can be defined in relation to the accumulation of exergy. Exergy is equal to the Gibbs potential (free energy) present in the system in relation to the same system when it reaches a thermodynamic equilibrium (Jørgensen & Svirezhev, 2004).

As an analog concept of entropy, exergy can be defined as:

$$Ex = T(S_i^{eq} - S) \text{ (Jørgensen \& Svirezhev, 2004),} \quad (11)$$

where  $S$  is the entropy and  $S_i^{eq}$  is its value at some  $i^{\text{th}}$  (thermodynamic) equilibrium.

Depending on the molecules built by photosynthesis (carbohydrates, proteins, lipids, etc.), exergy can be stored in the plants tissues as biomass.

Presumably, subsystems with higher amounts of biomass have the ability to store higher amounts of exergy.

### ***Concepts of Succession, Stability, Climax, Dynamic Equilibrium, Maturity, and Steady State***

In an “ecological succession,” an ecosystem tends to develop towards a dynamic equilibrium with the environment, reaching, according to Shafi and Yarranton (1973), a “climax.” It was suggested for many years that the stability of a system grows with the complexity of the ecosystem, for example with the number of species or their interactions (Odum, 1972; Park, 1970; Patten, 1959; Margalef, 1956). This issue was approached by many authors from the energetic point of view (Jørgensen & Svirezhev, 2004; Odum, 1972; Margalef, 1963; Patten, 1959; Margalef, 1956) as a way of quantifying the dynamic processes of ecosystems.

The stability concept is related to the capacity of the system to resist disturbances and reach the (dynamical) equilibrium state (Jørgensen & Svirezhev, 2004) defined by the productivity/biomass relationship. According to Margalef (as cited in Flos, 2005), such quotient decreases as the ecological succession moves forward because accumulated exergy is destined for the maintenance of biomass and information present in this equilibrium. At the equilibrium state, the growth rate of intervening populations tends to zero and is manifested with minimal fluctuations. If otherwise, we are in the presence of chaotic cycles which manifest several possible steady states (Stone & Ezrati, 1996).

Related to a determined moment of a succession, there will be populations that follow a normal succession inside a community towards a steady state, and others (adapted) that take advantage of evicted niches, corresponding to succession states closer to the thermodynamic equilibrium (maximum entropy), with the maximum tolerance of an adverse abiotic factor.

A deep connection exists between thermodynamics as a physical theory and the mathematical theory of stability. One of the most important concepts in the stability theory is the concept of "Lyapunov coefficients" (Justus, 2008; Jørgensen & Svirezhev, 2004). Basically, Lyapunov coefficients indicate the distance of a system from thermodynamic equilibrium:

$$(L = S^{\max} - S) \quad (12)$$

In ecological systems they are related to the distance from a dynamic equilibrium or "climax," in which case it is possible to define vectors towards steady states.

Exergy ( $Ex$ ) and Lyapunov coefficients are related (see Eq. (11)).

Therefore, exergy can be defined through a Lyapunov coefficient (Jørgensen & Svirezhev, 2004). It is possible to modify the Eq. (12), based on Eq. (11) under isothermal conditions ( $T = \text{const}$ ):

$$L = Ex \quad (13)$$

In 1936, Clements developed the concept of "climax." The term is applied to a more or less permanent successional stage in a characteristic or restricted area.

He argues that "climax vegetation is a pattern of populations corresponding to a pattern of environmental gradients and more or less diverse according to the diversity of environments and kinds of populations in the pattern" (Clements, 1936). This concept refers to a quasi-stationary situation; hence the scientific community recommends the use of the term "steady state" defined as a situation in which vegetation changes and presents an incomplete stabilized condition (Park, 1970). In this sense, it may be more correct to use the term "poli-climax" defined by Tansley (1911, cited in Park, 1970), because it is possible to reach situations in which species richness and interactions among the system components are different, and will depend on the magnitude of the disturbances, the direction of the succession and its endpoint.

Several authors (Odum, 1972; Phillips, 1935) applied the concept of "climatic climax" as the theoretical community that a succession tends to reach in a determined region. The succession ends in an "edaphic climax" where topography, soil, water, or fire affects the climatic climax. The edaphic climax will be more or less stable during man's lifetime until a regional change or a change in geological substrate occurs. However, for example, an "A" horizon in a soil can disappear in

a few years due to water or aeolian erosion, and a substrate (parental material) can change in a year after an important dust storm.

According to Odum (1972), in the presence of an extreme physical substrate, it is more difficult to modify the environment, and the most likely result is that a community's development ends without reaching equilibrium with the regional climate.

"Maturity" is related to stability of the system, defining a mature state as a system that possesses a low productivity/biomass relation, defined by Margalef (as cited in Flos, 2005; Walker, 2005; Park, 1970).

"Steady state", as we previously said, refers to a quasi-stabilized state, albeit dynamic, which oscillates in time and space. Ecologically, steady state can be defined as a temporary state of dynamic equilibrium in an open system. The distinction with climax is evident because "climax vegetation" is defined as invariable in time. However, in the ecosystem, a continuous imbalance exists among materials (Park, 1970) and energy inputs and outputs (Jørgensen & Svirezhev, 2004).

Based on the aforementioned definitions, in a succession, communities tend to reach one or several states of relative stability, in which states ecological interactions make the system more resilient. Such changes can occur in time (Stone & Ezrati, 1996) or in space (Flos, 2005; Odum 1972), so it is possible to have several situations in the succession at the same time in a particular ecosystem.

If development of a community starts in an area that has not been previously occupied by another community, the process is known as primary succession. If a succession starts in an area where a community has been eliminated, the process is referred to as secondary succession and tends to develop faster (Odum, 1972).

According to the definitions, we suppose that the terms steady state, maturity, or dynamic equilibrium are proper; although, it is possible to use some classical concepts as climatic climax (or modified as climatic equilibrium) and edaphic climax (or modified as edaphic equilibrium) that can be useful to explain certain aspects of ecological dynamics.

Given our conditions due to anthropic intervention, we, practically, have to consider secondary successions or edaphic equilibrium. Primary successions are rare situations.



**ANEXO 11**  
**Modelo de encuesta realizada a pobladores locales**

Entrevistador.....Fecha.....

Encuesta N°.....

“MANEJO SUSTENTABLE DEL ECOSISTEMA SALINAS GRANDES  
DEL CHACO ÁRIDO”

**I. DATOS GENERALES**

Nombre del Establecimiento.....  
 Paraje:.....  
 Ubicación:.....  
 .....

Latitud..... Longitud..... Nro.....  
 Nombre del encuestado.....

**II. TENENCIA DE LA TIERRA**

¿Es Propietario?  SI  NO ¿En que porcentaje?.....%  
 ¿Es Arrendatario?  SI  NO ¿En que porcentaje?.....%  
 ¿Ocupante?  SI  NO ¿En que porcentaje?.....%  
 ¿Es Puestero?  SI  NO ¿Qué superficie del campo puede trabajar para UD.?  
 ¿Qué título posee? Escritura  SI  NO Boleto Compraventa  SI  NO  
 Otro.....

**III. SOCIOECONOMÍA**

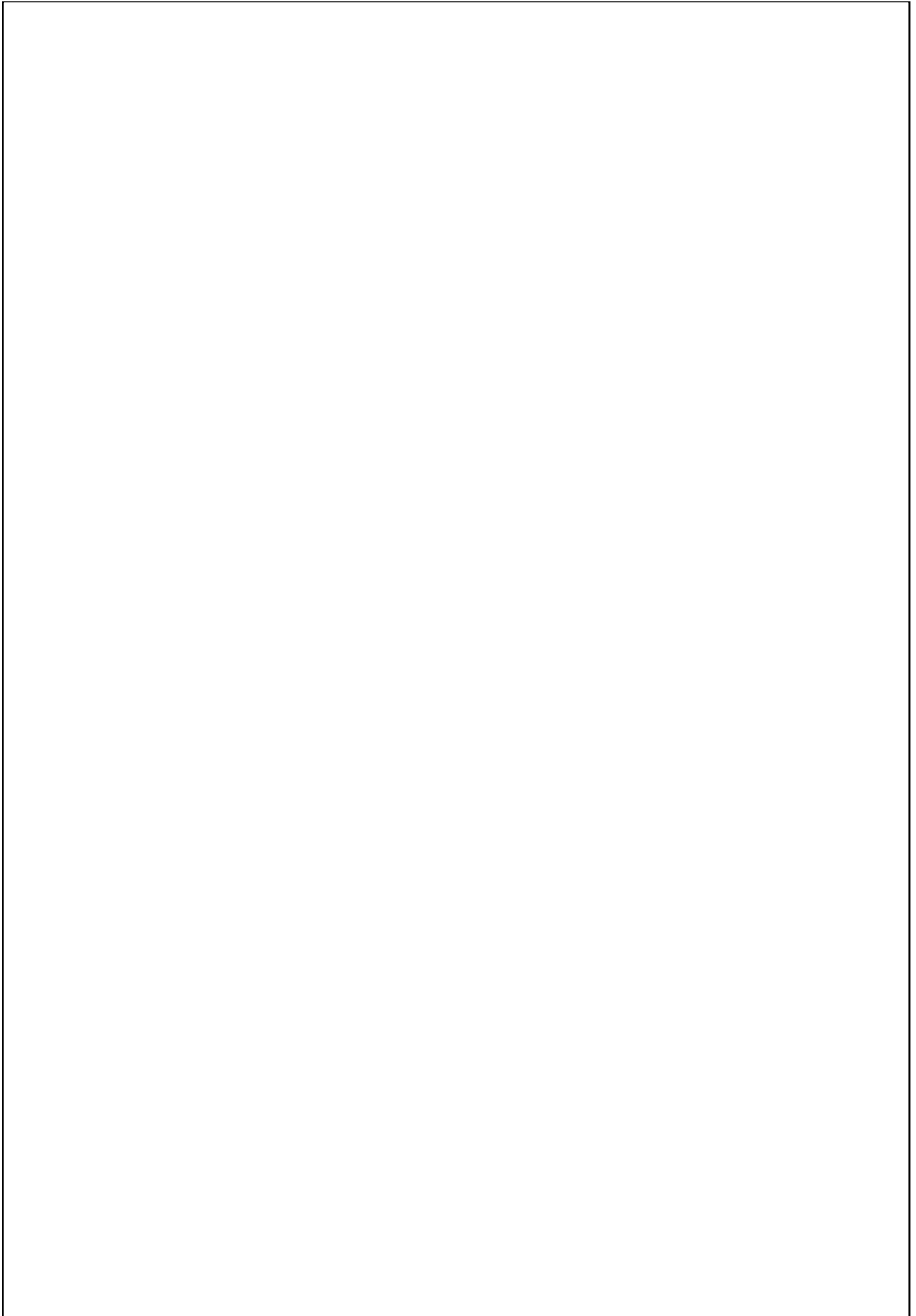
1. Necesitamos conocer algunos datos sobre Ud. y su familia, los que están en la casa y los que se mudaron fuera de la comunidad.

Nombre	Edad	Parentesco *	Trabaja afuera	Donde trabaja	Vive aquí	Escolaridad	lee / escribe	Distancia a la escuela

\*Si es jefe de familia, esposa, hijos, etc.

\*\*A que edad se fueron los hijos

Utilice esta página para dibujar su campo poniendo la casa, los corrales y los potreros



2. DE LAS PERSONAS QUE VIVEN EN EL HOGAR ¿CUÁNTAS APORTAN TRABAJO?

Nombre o parentesco	¿Qué trabajo realiza?***	¿Cuánto gana por esto? (beneficio que obtiene)	Tiempo empleado

\*\*\*Se entiende como trabajo: recolección, caza, pesca, trabajo de la tierra, cestería, etc.

3. Sociedad

3.1 ¿Tiene Familiares en la zona?

¿Quiénes?

¿Dónde viven?

3.2 ¿Podría contar como es el sistema de salud en la zona? (médico, puesto sanitario, hospital, ambulancia, etc.)

3.3 Para trámites administrativos ¿dónde acude?

¿A qué distancia está?

¿Cómo llega?

4. Educación:

4.1 ¿Qué tipo de escuelas hay en la zona?

Primario

Secundario

Terciario

4.2 ¿Está conforme con la educación que se imparte en su escuela?

4.3 ¿Los maestros son de la zona?

4.4 ¿Con qué servicios cuenta?

Que gastos le implica en el mes?

5. Actividad Principal:.....

¿Qué superficie trabaja?

Agricultura..... ¿Cuánto?.....

Ganadería..... ¿Cuánto?

Huerta..... ¿Cuánto?.....

Chacra..... ¿Cuánto?.....

Otros..... ¿Cuánto?.....

Posee cercos o alambrados..... ¿Qué superficie?.....

Superficie total del campo.....

6. - ¿Cuáles son las plantas de más importancia de la zona y para que las utiliza?

7. Puede darnos algunos datos sobre la ganadería de su campo?

	<u><b>Ganado Vacuno</b></u>	<u><b>Ganado Caprino</b></u>
Cantidad de animales (total)		
Cuántos vientres		
Cuántos machos		
Cuántas crías tiene por año		
Cuántos vende por año		
Cuántos se mueren por año		
Cómo vende estos productos		
A quién vende o cambia		
Precio por animal		
Cuántos animales consume por año		

Principales problemas		
Curaciones		
Qué se puede mejorar		
	<b><u>Ganado Porcino</u></b>	<b><u>Ganado Ovino</u></b>
Cantidad de animales (total)		
Cuántos vientres		
Cuántos machos		
Cuántas crías tiene por año		
Cuántos vende por año		
Cuántos se mueren por año		
Cómo vende estos productos		
A quién vende o cambia		
Precio por animal		
Cuántos animales consume por año		
Principales problemas		
Curaciones		
Qué se puede mejorar		
	<b><u>Yeguarizos</u></b>	<b><u>Aves</u></b>
Cantidad de animales (total)		
Cuántos vientres		
Cuántos machos		
Cuántas crías tiene por año		
Cuántos vende por año		
Cuántas muertes		
Cómo vende estos productos		
A quién vende o cambia		
Precio por animal		
Cuántos animales consume por año		
Principales problemas		
Curaciones		
Que se puede mejorar		

### 8.1 Compra forraje?

Cuál es el gasto que tiene al año en la compra de forrajes

8. Con respecto al agua: Cómo la obtiene, calidad y abundancia a través del año.

#### 8.1 Agua

8.1.a. Para uso humano:

8.1.b. Para uso animal y vegetal:

8.1.c. ¿Cuáles son los problemas mas importantes que tiene con respecto al agua de riego?

8.1.d. Respecto a otros años ¿llueve más o menos?

#### 8.2 Clima

8.2.a. ¿Cuántos días con helada hay en el año?

¿Este año?

8.2.b. ¿Cuándo se producen las primeras heladas?

¿Este año?

8.2.c. ¿Cuándo se producen las últimas heladas?

¿Este año?

8.2.d. ¿Cuándo comienzan la época de lluvias?

8.2.e. ¿Cuándo terminan?

8.2.f. ¿Cuál es el mes más seco?

8.2.g. ¿De donde son los vientos predominantes? ¿En qué época es mayor la incidencia?

9. Ambientes:

9.1. ¿Identifica zonas diferentes en el área de pastoreo?

9.2. ¿Qué considera para identificarlas como diferentes?

9.3. ¿Cómo es el suelo en cada zona? (pesados, arenosos, mas o menos sal)

9.4. ¿Qué diferencias nota respecto al pastoreo en cada zona? ¿En qué épocas se pastorea cada una?

10. ¿Puede darnos algunos datos sobre su chacra? Necesitamos saber los datos para un año.

Producto	Superficie	Cuanto cosecha	Cuanto consume	Cuanto vende o cambia	Precio de venta o de cambio	A quién vende o cambia
Zapallos						
Maíz						

10.a. ¿Cómo vende estos productos?

10.b. ¿Cómo se puede mejorar la venta y uso de estos productos?

11. ¿Puede darnos algunos datos sobre los frutales? Necesitamos saber los datos para un año.

Producto	Superficie	Cuanto cosecha	Cuanto consume	Cuanto vende o cambia	Precio de venta o de cambio	A quién vende o cambia

11.a. ¿Cómo vende estos productos?

11.b. ¿Cómo se puede mejorar la venta y uso de estos productos?

12. ¿Puede darnos algunos datos sobre otros productos? Necesitamos saber los datos para un año.

Producto	Superficie	Cuanto Obtiene	Cuanto consume	Cuanto vende o cambia	Precio de venta o de cambio	A quién vende o cambia
Miel						
Cueros						
Artesanías						
Aromáticas						

12.a. ¿Cómo vende estos productos?

12.b. ¿Cómo se puede mejorar la venta y uso de estos productos?

13. ¿Tiene ingresos de trabajos fuera de la casa? 1 Si 2 No ¿Cuánto gana?.....

¿Cuánto tiempo?.....

14. ¿Qué tipo de organización tiene su comunidad?

14.a. ¿Recibe apoyo institucional sobre organización?

14.b. ¿Recibe subsidios para producción? (dinero, semillas, plantas, etc.)

14.c. ¿Tiene acceso a créditos para la producción?

15. ¿Tiene otros tipos de ingresos? Jubilaciones, pensiones, subsidios, etc.

SI  NO Cual?.....

¿Cuánto dinero recibe por mes?.....

16. ¿Recibió y/o recibe capacitación sobre actividades productivas?

16.a. ¿Sobre que actividades?

16.b. ¿Qué institución realiza la capacitación?

16.c. ¿En que consiste la capacitación?

16.d. ¿Cuánto dura la capacitación?

16.e. ¿Ud. aplica lo aprendido? Si No ¿Por qué?

16.F. ¿QUÉ NECESITA PARA APLICAR LO APRENDIDO?

16.g. ¿Qué tipo de capacitación requiere? ¿Por qué?

16.h. ¿Recibe material informativo?

16.i. ¿Escucha por radio programas relacionados a las actividades rurales?

17. DEL LISTADO SIGUIENTE INDIQUE ¿CUÁLES MEJORAS SE PODRÍAN REALIZAR EN SU CAMPO?

	Si o No	Más Importante	Menos Importante	Por que?
Mejorar los forrajes				
Mejorar los corrales				
Plantar árboles				
Criar animales (que animales)				
Salir a trabajar afuera				
Mejorar huerta				
Suministro de agua potable				
Mejorar suelos				
Mejorar aguadas				

18. ¿Cuántos miembros de su grupo familiar emigraron de la zona?:.....

18.a. Destino principal:.....

18.b. Edad de emigración: .....

18.c. Motivo de la emigración: Económicos/educacionales/  
políticos/familiares/otros:.....

18.d. Actividad principal que desarrollan los emigrados:.....

19. ¿Considera que los emigrados están mejor que los que se quedaron?..... ¿Porqué?

20. ¿Los que se fueron ayudan económicamente a la familia que quedó?

21. ¿La familia ayuda a los que se fueron?

22. ¿Cree usted que se podría revertir la emigración? SI/NO

**23. ¿Puede darnos algunos datos sobre el uso de animales silvestres en la zona?**

**¿Consumen o utilizan animales silvestres en su familia? A) Si - B) No ¿por qué?**

**A)**

23.1. ¿Cómo se provee de animales silvestres? Nombre, comunidad.

Usted o un miembro de la familia:

Vecino comunidad:

Vecino otra comunidad:

Otros:

23.2. **Sobre la actividad de caza en la familia.** Tener en cuenta también las aves migratorias.

¿Usted caza? ..... ¿Cuántos miembros en la familia cazan?..... ¿Cazan juntos? Si No  
A veces

¿Con quien/es más salen a cazar?

¿Realizan salidas de cazas programadas? Si No ¿Cuántas al año?..... ¿Cuántas personas?  
.....

¿Puede contarnos como se organizan, que planifican, si es con algún objetivo determinado?

Del total de recorridas que, usted o alguien de su familia, realiza a la semana o al mes (aclarar) ¿cuántas veces regresa con presas? Si hay variaciones en el año anotar los períodos de variación.

¿Puede calcular, al año, el total de veces que, usted o un miembro de la familia, regresa del campo con una presa? Tenga en cuenta las salidas programadas y las no programadas .....

23.3. Sobre los animales silvestres provistos por los miembros de la familia.

Animales	Cantidad al año	Cuanto consume (alimentación)	Cuanto vende o cambia	Valor de venta o de cambio	Otros usos




23.4. ¿A quién vende o cambia?

23.5. **Sobre los animales silvestres provistos por otros cazadores.** Presa completa.

Animales	Cantidad al año	Costo de la compra o cambio	Cuanto consume (alimentación)	Otros usos

24. **¿Cuánto aporta la actividad de caza en la alimentación familiar?**

24.1. Puede estimar, la cantidad de comidas que realiza con la caza de una salida (programada u ocasional)

24.2. ¿Qué comidas realiza?

25. **Acerca de otros productos que proveen animales silvestres.**

25.1. ¿Recolecta huevos de suri o de otras especies silvestres?

¿Cuántos recolecta al año?

¿Los consumen en la familia o tienen otro destino?

25.2. ¿Juntan miel del monte?

¿De que abeja?	Cantidad al año	Cuanto consume	Cuanto vende	Precio p/kg	Observaciones

¿A quién vende?.....

¿Dónde vende? .....

26. **Trabajos manuales elaborados con productos de los animales silvestres.**

26.1. ¿Usted realiza algún trabajo manual con partes de los animales cazados?

No	¿Por qué? Interés, conocimiento, posibilidades.

Si	¿Qué?	Animal y parte que utiliza	Cuanto consume	Cuanto vende o cambia	Valor por venta o cambio

26.2. Si no comercializa el trabajo producido (en base a cuadro de arriba) ¿Cuáles son sus razones?

26.3. ¿Sabe de algún vecino o vecina que realice trabajos manuales utilizando animales silvestre?

Nombre	Comunidad	Trabajos que realiza	Observaciones

**27. Acerca de algunas apreciaciones suyas de los animales silvestres.**

A su juicio, existen factores de presión internos o externos a la zona, que puedan afectar la disponibilidad de animales silvestres: Si No

¿Cuáles?

¿Presenta dificultades para el uso de animales silvestres? Si No

¿Cuáles?

De los animales que usted utiliza nombre tres (3) que son de su preferencia. ¿Por qué?

1)..... 2).....  
3).....

¿Cuál es la disponibilidad de estos animales en la zona? Abundante Escasa

Mencione una consideración que usted hace al momento de cazar: