



Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Escuela para Graduados



**ÍNDICES PRODUCTIVOS OVINOS Y SU RELACIÓN CON LA
DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y EL ÍNDICE DE VEGETACIÓN
MEJORADO (EVI) EN EL ÁREA COSTERA DE LA PROVINCIA
DEL CHUBUT, PATAGONIA ARGENTINA**

Erica Noemí Colombani

Tesis

Para optar al Grado Académico de
Magister en Ciencias Agropecuarias
Mención: Recursos Naturales

Córdoba, 2012

**ÍNDICES PRODUCTIVOS OVINOS Y SU RELACIÓN CON LA
DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y EL ÍNDICE DE VEGETACIÓN MEJORADO
(EVI) EN EL ÁREA COSTERA DE LA PROVINCIA DEL CHUBUT,
PATAGONIA ARGENTINA.**

Erica Noemí Colombani

Comisión Asesora de Tesis

Director: Ing Agr. (Mgter.) Gustavo Ovando

Asesores: Ing. Agr. (Mgter.) Néstor Elissalde

Ing. Agr. (Dr.) Antonio de la Casa

Tribunal Examinador de Tesis

Ing. Agr. (Dra.) Marta Graciela Vinocur

Ing. Agr. (Dr.) Carlos M. Di Bella

Ing. Agr. (Dr.) Antonio de la Casa

Presentación formal académica : 10 de Abril de 2012
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Córdoba

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mi Comisión Asesora de Tesis, Gustavo Ovando, Néstor Elissalde y Antonio De la Casa, por sus recomendaciones, permanentes sugerencias y apoyo incondicional a lo largo de todo éste proceso.

A los dueños y encargados de estancias, quienes tan amablemente me abrieron las puertas y me brindaron toda la información necesaria para llevar adelante ésta investigación.

A mi director de beca, Jorge Salomone por su confianza y paciencia a lo largo de todos estos años.

A la institución, que con su apoyo financiero o logístico han hecho posible la realización de ésta Maestría.

A mis compañeros de trabajo, Santiago Behr y Javier González, por su gran ayuda y predisposición a colaborar en la realización de la tesis. A Rosa Arbuniés por su gran compañerismo y amistad, quien fue apoyo emocional en los momentos más difíciles en el transcurso de mis años como becaria.

A mis padres, Dora y Ramón, por inculcarme los valores que hoy me hicieron llegar hasta aquí, por su amor y presencia.

A mi pilar, Agustín, por ser mí guía, compañero de camino y apoyo incondicional en buenas y malas.

*A mi compañero de vida, Agustín y
a Valentín por elegirme su mamá ...*

RESUMEN

La predicción del tiempo en la escala de unas pocas semanas, pero principalmente del clima en la escala de meses y años, abriría importantes posibilidades en el manejo de la producción agropecuaria y permitiría la previsión de los períodos escasamente productivos de regiones específicas. El objetivo de este trabajo fue desarrollar y evaluar modelos predictivos basados en información de disponibilidad hídrica, carga animal e índices de vegetación espectral, para estimar parámetros de la productividad ovina y determinar prácticas de manejo en el área costera de la provincia del Chubut, Patagonia Argentina. Las precipitaciones medias anuales para el período 1995-2008 no difirieron significativamente del promedio; se concentran en la época otoño-invernal, sin detectarse diferencias entre primavera y verano. Considerando el momento de ocurrencia de la lluvia durante el año, las de febrero tienen una influencia marcada en la producción de lana por animal y por hectárea en la siguiente esquila. La inclusión de la carga animal mejoró considerablemente los resultados en los modelos explicativos de los índices productivos. Las precipitaciones y el índice de evapotranspiración (IE) del bimestre enero-febrero fueron las variables que mejor explicaron las variaciones en la producción de lana, mientras que las precipitaciones del bimestre marzo-abril constituyeron la mejor explicación del porcentaje de señalada. El diámetro de fibra fue mejor explicado por las precipitaciones del bimestre marzo-abril y por el IE del bimestre noviembre-diciembre. Cuando se analizó la correlación del índice de vegetación mejorado (EVI) con la disponibilidad hídrica se obtuvo una mejor relación a partir de IE que con la precipitación, por lo que este índice de sequía puede ser considerado un mejor estimador del EVI anual. Con respecto a los modelos para estimar los índices productivos a partir del EVI, los coeficientes de determinación obtenidos en todos los casos fueron superiores a los modelos que utilizan la precipitación o el IE. De acuerdo a estos resultados, el índice de vegetación EVI de MODIS, en razón que permite analizar mayor información ambiental, es un mejor indicador que la precipitación y el IE para estimar la productividad ovina en el área de estudio.

Palabras claves: precipitaciones, ovinos, producción, EVI, Patagonia.

ABSTRACT

The weather forecast in the scale of a few weeks, but mainly the climate in the scale of months and years, would open important possibilities in the management of the agricultural production and would allow the anticipated forecast of the scarcely productive periods in specific regions. The objective of this work was to develop and to evaluate predictive models based on information of water availability, stocking rate and spectral vegetation indices, to estimate parameters of sheep productivity and to determine management practices in the coastal area of Chubut province, Argentinean Patagonia. The average annual rainfall for the period 1995-2008 did not differ significantly from the average; they are concentrated in the autumn-winter season without detection differences between spring and summer. Considering the moment of occurrence of the rainfall within the year, the rain of February has an important influence in the wool production per animal and per hectare in the following shearing. The inclusion of the stocking rate considerably improved the results in the explanatory models of the productive indices. The rainfall and the evapotranspiration index (IE) of the January-February bimester were those that better explained the variations in wool production, while the rainfall in the bimester March-April were the best explanation for the percentage of livestock marking. The fiber diameter was better explained by the rainfall in the March-April bimester and by the IE of the bimester November-December. When the correlation of the enhanced vegetation index (EVI) with the IE was analyzed, a better relation based on the IE than with rainfall was obtained, therefore this one drought index can be considered a better estimator of the annual EVI. With regard the models for estimating the productive indices based on EVI, the determination coefficients obtained in all cases were higher than those of models utilizing precipitations and IE. Based on these results, the vegetation index EVI of MODIS, in reason that allows to analyze more environmental information, is a better indicator than the precipitation and IE to estimate sheep productivity in the study area.

Key words: precipitations, sheep, production, EVI, Patagonia.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
Análisis temporal.....	12
Satélites y sensores de teledetección.....	13
Compuestos MODIS.....	14
HIPOTESIS.....	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
ÁREA DE ESTUDIO.....	20
Características climáticas.....	20
Características agroecológicas.....	22
Fisiografía.....	22
Vegetación.....	22
Criterios de selección de establecimientos.....	24
Manejo de la majada en la región.....	27
Análisis de datos.....	29
Cuantificación de la disponibilidad hídrica.....	29
Cuantificación de los índices productivos.....	33
Análisis y procesamiento de imágenes satelitales.....	35
Metodología de análisis estadístico.....	41
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
Evaluación de las precipitaciones en el área de estudio.....	43
Incidencia temporal de las precipitaciones sobre indicadores de la productividad ovina.....	64
Relación de la disponibilidad hídrica con indicadores de la productividad ovina.....	80
Análisis de la relación de la disponibilidad hídrica con índices de vegetación MODIS.....	88
Relación de los índices de vegetación MODIS con indicadores de la productividad ovina.....	103

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....	113
BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	121
ANEXO I. DESCRIPCIÓN AGROECOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	132
DESCRIPCIÓN AGROECOLÓGICA.....	133
Región del Golfo.....	133
Monte Austral.....	136
Sierras y mesetas occidentales.....	137
Caracterización del régimen de precipitación.....	139
Caracterización fisiográfica de la zona Camarones.....	141
ANEXO II. ESTADÍSTICOS ASOCIADOS.....	149

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Ubicación geográfica de los pluviómetros en los distintos establecimientos ganaderos.....	30
Tabla 2.2: Productos considerados para caracterizar la vegetación en el programa MODIS.....	39
Tabla 3.1: Precipitaciones (mm) medias mensuales y anual para el período 1995-2008, para los nueve establecimientos del área de estudio.....	45
Tabla 3.2: Estadísticos y parámetros de la regresión lineal de las series de precipitación anual (mm) para cada establecimiento, periodo 1995-2008.....	53
Tabla 3.3: Coeficiente de variación (mm) para los trimestres de verano, otoño, invierno y primavera, para los establecimientos del área de estudio, período 1995-2008.....	63
Tabla 3.4: Promedio de precipitaciones y porcentaje de las estaciones del año, para los establecimientos del área de estudio, período 1995-2008.....	64
Tabla 3.5: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y las precipitaciones mensuales (período 1995-2008). En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$	68
Tabla 3.6: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y las precipitaciones bimestrales (mm); período 1995-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$	69
Tabla 3.7: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y el IE, período 1995-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$	82
Tabla 3.8: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y los valores bimestrales de IE, período 1995-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$	83
Tabla 3.9: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre las precipitaciones mensuales (mm) y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; ***	97

p<0,001.....	
Tabla 3.10: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre el IE y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.....	98
Tabla 3.11: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre las precipitaciones bimestrales (mm) y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.....	99
Tabla 3.12: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre el IE bimestral y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.....	100
Tabla 3.13: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los bimestres de las precipitaciones (mm) y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.....	101
Tabla 3.14: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los bimestres del IE y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.....	101
Tabla 3.15: Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y los valores de EVI bimestrales en el período 2000-2008. En negrita se muestra la correlación más alta para cada índice con un nivel de significancia p<0,001.....	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Imagen global del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) a partir de datos MODIS (Fuente: http://visibleearth.nasa.gov/).....	16
Figura 2.1: Ubicación del área de estudio. Área de Camarones, zona costera de la provincia del Chubut, Argentina.....	19
Figura 2.2: Mapa de isohietas de la precipitación media anual (mm) del período 1931-1960 en la provincia del Chubut (Barros et al., 1979).....	21
Figura 2.3: Mapa del área de estudio con la división catastral de los establecimientos. Establecimientos: Pozo Hondo (1), La Argentina (2), La Esperanza (3), San Felipe (4), La Filomena (5), La Rosa (6), San Eduardo (7), Berna (8), La Juanelia (9), La Margarita (10), María Sofía (11), El Sauce (12), La Isabel (13), Cerro Cóndor (14), Cabo Raso (15), La Teutonia (16), La Maciega (17), Santa Elena (18) y San Jorge (19). Unidades de paisaje: Área costera (■); Lagos y lagunas (■); Pedimentos mesetiformes, piedemontes y terrazas (■); Relieve de erosión del grupo Chubut y complejo porfirítico (■); Valles y planicies aluviales (■).....	26
Figura 2.4: Ciclo anual de producción de un rodeo de cría lanar.....	28
Figura 2.5: “Tiles” del sistema de grilla sinusoidal del producto EVI, MODIS....	36
Figura 2.6: “Tiles” que abarcan el área de estudio para la zona de Camarones, provincia del Chubut.....	36
Figura 2.7: Imagen satelital EVI, con la ubicación de los establecimientos del área de estudio. En negro se señalan los establecimientos estudiados, en celeste se remarcan los establecimientos que abarca el área costera de Camarones.....	38
Figura 2.8: Comparación de valores de EVI promedio de todos los establecimientos y los valores EVI promedio con aplicación del filtro y suavizado.....	40
Figura 3.1: Mapa de isohietas, período 1931-1960 (Barros <i>et al.</i> , 1979) y ubicación de los establecimientos con precipitaciones (período 1995-2008) superiores (■), similares (■) e inferiores a la media (■).....	46
Figura 3.2: Variación de la precipitación anual (mm) de los establecimientos del área de estudio para el período 1995-2008.....	50

Figura 3.3: Tendencia y desvío estándar de la distribución anual de precipitaciones (mm), promedio de todos los establecimientos para el período 1995-2008.....	51
Figura 3.4: Distribución de las precipitaciones mensuales (mm) para los años secos (a) y para los años húmedos (b).....	52
Figura 3.5: Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en Berna (período 1995-2008); $p=0,57$	54
Figura 3.6: Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en Cerro Cóndor (período 1995-2008); $p=0,52$	54
Figura 3.7: Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en La Argentina (período 1995-2008); $p=0,15$	54
Figura 3.8: Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en La Filomena (período 1995-2008); $p=0,04$	55
Figura 3.9: Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en La Isabel (período 1995-2008); $p=0,37$	55
Figura 3.10: Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en La Teutonia (período 1995-2008); $p=0,64$	55
Figura 3.11: Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en San Eduardo (período 1995-2008); $p=0,71$	56
Figura 3.12: Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en San Jorge (período 1995-2008); $p=0,16$	56
Figura 3.13: Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en Santa Elena (período 1995-2008); $p=0,45$	56
Figura 3.14: Distribución y desvío estándar de la precipitación media mensual (mm) de todos los establecimientos del área de estudio (período 1995-2008).....	57
Figura 3.15: Distribución de frecuencias absolutas mensuales de precipitaciones de los establecimientos del área de estudio (a) y frecuencia relativa para todos los meses (b); período 1995-2008.....	59
Figura 3.16: Distribución estacional para los establecimientos del área de estudio. V: verano, O: otoño, I: invierno y P: primavera; período 1995-2008.....	60
Figura 3.17: Precipitación media y desvío estándar del trimestre de verano para los establecimientos del área de estudio; período 1995-2008.....	61

Figura 3.18: Precipitación media y desvío estándar del trimestre de otoño para los establecimientos del área de estudio; período 1995-2008.....	61
Figura 3.19: Precipitación media y desvío estándar del trimestre de invierno para los establecimientos del área de estudio; período 1995-2008.....	62
Figura 3.20: Precipitación media y desvío estándar del trimestre de primavera para los establecimientos del área de estudio; período 1995-2008.....	62
Figura 3.21: Regresión lineal entre precipitaciones anuales (mm) con: a) porcentaje de señalada y b) finura de lana, para los establecimientos del área de estudio (período 1995-2008).....	66
Figura 3.22: Superficie de respuesta de la producción de lana por animal con respecto a la carga animal y la precipitación del bimestre enero-febrero.....	70
Figura 3.23: Superficie de respuesta de la producción de lana por unidad de superficie con respecto a la variable carga animal y la precipitación (mm) del bimestre enero-febrero.....	71
Figura 3.24: Superficie de respuesta del porcentaje de señalada con respecto a la variable carga animal y las precipitaciones del bimestre marzo-abril.....	73
Figura 3.25: Superficie de respuesta de finura de lana con respecto a la carga animal y las precipitaciones (mm) del bimestre marzo-abril.....	75
Figura 3.26: Relación entre los valores anuales de precipitación y de IE para los establecimientos del área de estudio durante el período 1995-2008.....	76
Figura 3.27: Relación entre la precipitación y el IE para los bimestres: a) Enero-febrero. b) Marzo-abril. c) Mayo-junio. d) Julio-agosto. e) Septiembre-octubre. f) Noviembre-diciembre.....	77
Figura 3.28: Relación entre IE promedio anual y a) porcentaje de señalada, y b) finura de lana, para el conjunto de establecimientos del área de estudio en el período 1995-2008.....	81
Figura 3.29: Superficie de respuesta de la producción de lana por animal con respecto a la carga animal y el índice de evapotranspiración relativa (IE) del bimestre enero-febrero.....	84
Figura 3.30: Superficie de respuesta de la producción de lana por unidad de superficie con respecto a la carga animal y el índice de evapotranspiración relativa (IE) del bimestre enero-febrero.....	85
Figura 3.31: Superficie de respuesta del porcentaje de señalada con respecto a la carga animal y el índice de evapotranspiración relativa (IE) del bimestre marzo-	86

abril.....	
Figura 3.32: Superficie de respuesta de la finura de lana con respecto a la carga animal y el índice de evapotranspiración relativa (IE) del bimestre noviembre-diciembre.....	87
Figura 3.33: Valores medios anuales de EVI para los establecimientos del área de estudio en el periodo 2000-2008. La línea roja punteada representa el promedio de EVI para toda la región.....	89
Figura 3.34: Series de tiempo de EVI para los establecimientos del Grupo 1 en el período 2000-2008. Con línea roja se grafica el promedio general de los establecimientos del área de estudio. Con línea recta se grafica la tendencia del grupo.....	92
Figura 3.35: Series de tiempo de EVI para los establecimientos del Grupo 2 en el período 2000-2008. Con línea roja se grafica el promedio general de los establecimientos del área de estudio. Con línea recta se grafica la tendencia del grupo.....	93
Figura 3.36: Series de tiempo de EVI para los establecimientos del Grupo 3 en el período 2000-2008. Con línea roja se grafica el promedio general de los establecimientos del área de estudio. Con línea recta se grafica la tendencia del grupo.....	94
Figura 3.37: Regresión lineal de los valores medios anuales de EVI y las precipitaciones, para todos los establecimientos del área de estudio en el período 2000 al 2008.....	95
Figura 3.38: Regresión lineal de los valores promedios anuales de EVI y el IE, para todos los establecimientos del área de estudio en el período 2000 al 2008.....	96
Figura 3.39: Distribución mensual de los valores medios de EVI y el IE para el total de los establecimientos del área de estudio en el período 2000-2008 (arriba) y relación lineal entre ambas variables (abajo)	103
Figura 3.40: Mapa del área de estudio con la división catastral de los establecimientos. Grupo 1 (■): Cabo Raso (15), La Teutonia (16), La Maciega (17), Santa Elena (18) y San Jorge (19). Grupo 2 (■): San Eduardo (7), Berna (8), La Juanelia (9), La Margarita (10), María Sofía (11), El Sauce (12), La Isabel (13) y Cerro Cóndor (14). Grupo 3 (■): Pozo Hondo (1), La Argentina (2), La Esperanza (3), San Felipe (4), La Filomena (5) y La Rosa (6). En rayado se presentan los establecimientos que cuentan con registro pluviométrico. Unidades de paisaje: Área costera (■); Lagos y lagunas (■); Pedimentos mesetiformes, piedemontes y terrazas (■); Relieve de erosión del grupo Chubut y complejo porfirítico (■); Valles y planicies aluviales (■).....	104

Figura 3.41: Superficie de respuesta de la producción lana por animal con respecto a la carga animal y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) del bimestre marzo-abril.....	106
Figura 3.42: Superficie de respuesta de la producción lana por unidad de superficie con respecto a la carga animal y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) del bimestre marzo-abril.....	107
Figura 3.43: Superficie de respuesta del porcentaje de señalada con respecto a la carga animal y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) del bimestre julio-agosto.....	109
Figura 3.44: Superficie de respuesta del rinde al peine con respecto a la carga animal y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) del bimestre enero-febrero.....	110
Figura 3.45: Superficie de respuesta de la finura lana con respecto a la carga animal y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) del bimestre marzo-abril.....	111

LISTA DE ABREVIATURAS Y/O SÍMBOLOS.

- ρ_A : reflectividad del azul
- ρ_{IRC} : reflectividad del infrarrojo cercano
- ρ_R : reflectividad del rojo
- a : exponente empírico
- AVHRR: advanced very high resolution radiometer
- cm: centímetro
- EEA: estación experimental agropecuaria
- EOS: Earth Observing System
- ETP: evapotranspiración potencial
- ETR: evapotranspiración real
- EVI: enhanced vegetation index
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación
- G: factor de ganancia
- GCMs: Modelos de Circulación General de la atmósfera
- I: índice calórico
- IE: índice de evapotranspiración
- INDEC: Instituto Nacional De Estadística y Censos
- INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
- IRC : infrarrojo cercano
- IV: índice verde
- IWTO: International Wool Textile Organization
- L : radiancia del fondo
- MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectro Radiometer

- MVC: máximo valor compuesto
- NASA: National Aeronautics and Space Administration
- NDVI: normalized difference vegetation index
- PPNA: producción primaria neta aérea
- QA : quality assessment
- R: rojo
- R^2 : coeficiente de determinación
- WIST: Warehouse Inventory Search Tool

INTRODUCCIÓN

El clima de una región está determinado por una combinación de factores astronómicos, geográficos y meteorológicos, y constituye el recurso natural más importante para el desarrollo de las economías regionales (Núñez *et al.*, 2010).

Las predicciones climáticas de mediano y largo plazo adquieren cada vez mayor importancia, debido al impacto que los eventos atmosféricos extremos tienen en la actividad socioeconómica de una región. El desarrollo de este tipo de información tiene un significado trascendente, dado que la ocurrencia de períodos de inundaciones y sequías afectan considerablemente la actividad agropecuaria (Flamenco *et al.*, 2002).

La predicción del tiempo en la escala de unas pocas semanas, pero principalmente del clima en la escala de meses y años, abriría importantes posibilidades en el manejo de la producción agropecuaria y permitiría la previsión de los recursos en los periodos escasamente productivos de algunas regiones (Barros, 1984).

Durante el siglo XX se han observado tendencias y fluctuaciones en la precipitación de la región patagónica. La magnitud de los cambios es significativa desde el punto de vista ecológico y económico (Barros y Mattio, 1977). El clima es un sistema complejo por lo que su comportamiento es difícil de predecir. Por una parte hay tendencias a largo plazo debidas, normalmente, a variaciones sistemáticas como la de la concentración de los gases de efecto invernadero, la de la radiación solar o los cambios orbitales. Por otra parte, existen fluctuaciones más o menos caóticas debidas a la interacción entre forzamientos, retroalimentaciones y moderadores (Wikipedia, 2011).

La cantidad y distribución de las precipitaciones en una región a lo largo del año, afectan el desarrollo y crecimiento de la vegetación. Para alcanzar un crecimiento y desarrollo óptimos, las plantas requieren, además, que el suelo les suministre el agua y los nutrientes disueltos en tiempo y forma (Belda *et al.*, 1999). En la Patagonia, las precipitaciones de otoño sirven, principalmente, para aportar el grado de humedad suficiente a los suelos y para recargar, después del período estival, las reservas de agua, de embalses y acuíferos. Las precipitaciones invernales son necesarias para mantener la humedad del suelo (Huang *et al.*, 1996) y seguir aumentando los niveles de los acuíferos. Las lluvias primaverales resultan especialmente importantes, ya que deben mantener el grado de humedad de los suelos, en tanto la vegetación requiere en esta época mayor cantidad de agua que en otros periodos, por la elevada demanda atmosférica que se registra (Belda, 1997).

Las plantas y animales pueden verse favorecidos o perjudicados por eventos meteorológicos que ocurren a escalas temporales menores que la anual. El análisis de la frecuencia de eventos extremos tales como períodos de fuertes vientos, de bajas temperaturas en primavera o de sequía, tienen gran valor en estudios ecológicos (Beltrán, 1997). En los ecosistemas áridos, la fenología de la planta se acopla a la disponibilidad de agua (Reynolds *et al.*, 1999), que está fuertemente afectada por diferencias en la precipitación anual (Ghazanfar, 1997) y/o la topografía del terreno (Olivares y Squeo, 1999).

En una región árida las precipitaciones suelen ser nulas o muy escasas o, por el contrario, pueden disponer de precipitación abundante que, no obstante, resulte insuficiente para satisfacer la demanda atmosférica. Esto último ocurre cuando el agua precipitada no es aprovechada íntegramente debido a distintos factores. Entre ellos se destaca la temperatura del aire, que condiciona directamente la intensidad de la evaporación. Las temperaturas bajas atenúan la evaporación mientras que las elevadas la intensifican, pudiendo dar lugar a condiciones de sequía o déficit hídrico, aun en el caso de que la precipitación sea elevada. Por lo tanto, el concepto de disponibilidad de agua del suelo no se basa sólo en la cantidad de precipitación, sino también en los factores que contro-

lan la demanda atmosférica y, en ese sentido, el balance hídrico es una herramienta necesaria para evaluarla (Núñez *et al.*, 2010). Algunos modelos de balance de agua del suelo han sido recientemente desarrollados (Paruelo y Sala, 1995; Flerchinger y Pierson, 1997; Rodríguez-Iturbe *et al.*, 1999; Reynolds *et al.*, 2000) y empleados para evaluar cómo los factores de la atmósfera, de la planta y del suelo obran recíprocamente para controlar las pérdidas de agua (Kemp *et al.*, 1997; Lauenroth y Bradford, 2006; citado de Bisigato y López Laphitz, 2009).

El estudio de la dinámica del agua del suelo presenta dificultades operativas que, en el caso de ecosistemas limitados por la disponibilidad de agua, se magnifica por la variabilidad extrema de la lluvia, tanto en el tiempo como en el espacio (Loik *et al.*, 2004). Además, el efecto de cualquier evento de lluvia no sólo depende de sus características inherentes, tales como cantidad, duración e intensidad, sino también de las condiciones precedentes de humedad, que tienen una fuerte influencia en el comportamiento resultante del sistema suelo-planta-atmósfera (D'Odorico y Porporato, 2006; Fernández, 2007; citados de Bisigato y Laphitz, 2009). Las dificultades inherentes a la medición de la humedad del suelo han llevado, en los últimos cincuenta años, a emplear directamente las estimaciones que se realizan a partir del cómputo del balance hidrológico (Pardi y Asborn, 2010) para evaluar el contenido de agua del suelo y su influencia sobre la producción de biomasa (Della Chiesa y Di Bella, 2010).

La productividad de la vegetación en ambientes áridos y semiáridos depende principalmente de la disponibilidad de agua (Noy Meir, 1973). Modificaciones en la cubierta vegetal provocan cambios en el escurrimiento superficial, la transpiración y la evaporación directa del suelo. Esto modifica a los restantes componentes del balance hídrico, particularmente el drenaje profundo y, con un retraso variable que depende del espesor y propiedades de la zona vadosa, la recarga subterránea. En regiones áridas y semiáridas la mayor parte de las pérdidas del agua precipitada en superficie se debe a la evapotranspiración, con valores superiores al 95% de la precipitación (Wilcox *et al.*, 2003), mientras que el drenaje puede considerarse prácticamente nulo (Scanlon *et al.*, 2005; citado de Santoni *et al.*, 2008).

La radiación fotosintéticamente activa en zonas áridas no es limitante del crecimiento ya que la cobertura vegetal es escasa; por su parte, los suelos son en general pobres en nutrientes (Wijnhoud y Sourrouile, 1972; Salazar Lea Plaza y Godagnone, 1990 citado de Oliva *et al*, 2001), de modo que la restricción de la falta de agua es tan importante que aún en sitios con grandes diferencias en fertilidad no se manifiesta una variación significativa de la productividad. Los sistemas semiáridos son considerados como maquinarias de conversión del agua del suelo en biomasa vegetal, que se ponen en funcionamiento cuando la humedad del suelo y la temperatura permiten el crecimiento, y dejan de producir en cuanto se seca el volumen de suelo utilizado por las raíces o cuando la temperatura disminuye (Oliva *et al.*, 2001).

La información acerca de la cantidad y distribución espacial y temporal de la lluvia es muy utilizada en estudios ecológicos, hidrológicos y agronómicos, como por ejemplo en análisis de la distribución de la vegetación, producción de forraje, riesgos de erosión del suelo, captación de agua, etc. Tradicionalmente, la información de lluvia corresponde a puntos específicos de la superficie terrestre distribuidos de manera irregular. A partir de la incorporación de los Sistemas de Información Geográfica al análisis del territorio es posible obtener una representación continua de la lluvia para toda la superficie analizada, esto es, que cada punto de esa superficie tenga un dato de precipitación (Elissalde *et al.*, 2002).

El agua cumple en la vida de las plantas una función muy importante. Una pequeña parte de ella entra en la composición de la materia seca, otra parte algo mayor mantiene la hidratación de los tejidos, mientras que la mayor parte asegura la migración de los elementos nutritivos necesarios para la vida de las plantas y se difunde a la atmósfera por transpiración cuticular y estomática. El suelo considerado como fuente de agua, también la pierde por evaporación directa hacia la atmosfera. Las pérdidas de agua enumeradas son de gran importancia para el desarrollo de los cultivos y la producción agrícola (Gebet y Juárez, 1977).

La estepa patagónica en la Argentina es una región semiárida fría, donde las precipitaciones ocurren mayormente durante otoño e invierno y recargan el perfil humedeciendo las capas profundas del suelo. Las precipitaciones de primavera-verano, en cambio, son poco frecuentes y solamente humedecen las capas superficiales del suelo (Sala *et al.*, 1989; Paruelo y Sala, 1995).

La variabilidad de las precipitaciones es una propiedad inherente a las regiones semiáridas (Le Houérou, 1959; Katsnelson, 1964; Le Houérou y Norwine, 1985; citado de Le Houérou 1996). Las regiones áridas son caracterizadas por una fluctuación extrema del tiempo año tras año, lo que a menudo dificulta distinguir entre variaciones de corto y largo plazo en la apariencia del ecosistema, como así también entre cambios temporarios y permanentes. Las variaciones de corto plazo causadas por factores naturales o antrópicos, tienden a afectar el rango y la frecuencia de esos impactos, mientras que los cambios de largo plazo alteran la base del recurso. La variación en la composición y cobertura de la vegetación puede ser reversible, dependiendo de la interacción de numerosos factores climáticos, edáficos y biológicos (Reynolds *et al.*, 1999).

La dinámica de la vegetación en las regiones áridas y semiáridas de producción ganadera depende principalmente del pastoreo, de las condiciones atmosféricas (eventos), y de la combinación de ambos factores. De acuerdo a las características de cada ambiente y tipo de vegetación, la respuesta a estos factores produce diferentes cambios en la vegetación y en el ecosistema en general (Westoby *et al.*, 1989; Rietkerk *et al.*, 1997).

Muchos de los problemas ligados a la producción agropecuaria tienen algunas características centrales: los agroecosistemas presentan atributos variables en el espacio y en el tiempo que son dependientes de la escala, e involucran múltiples relaciones entre los organismos y su ambiente biótico y abiótico. Las decisiones de manejo agropecuario se proyectan a unidades con diferente extensión y nivel de detalle, desde una planta o animal individual hasta el de una región o país, pasando por el lote o potrero y el de establecimiento rural o empresa. También requieren una definición y análisis temporal:

algunos problemas tienen que ver con los cambios diarios o semanales en algunos establecimientos rurales, mientras que otros se relacionan con variaciones interanuales. A esta diversidad de escalas espacio-temporales, se le agrega la complejidad propia de los agroecosistemas, formados por numerosos y diversos organismos que interactúan entre sí y con los factores físicos del ambiente, de manera tal que generan condiciones emergentes que solo pueden ser percibidas y manejadas si se encuentra la escala espacial y temporal apropiada (Paruelo *et al.*, 2005).

La Patagonia extra andina, por sus características semiáridas, presenta importantes limitantes para la actividad agropecuaria (Hall, 2000). La actividad agropecuaria de mayor relevancia en la provincia de Chubut es la cría de ganado ovino para la producción de lana. Aproximadamente el 90% de la superficie de la provincia está dedicada a esta actividad. Según el último Censo Nacional Agropecuario del año 2002, las existencias del ganado ovino en la provincia del Chubut alcanza un total de 3,89 millones de cabezas (INDEC, 2002). Un rasgo sobresaliente de este sistema de producción ovina es que la alimentación de las majadas se basa casi exclusivamente en la vegetación natural y que los animales se encuentran a la intemperie a lo largo de todo el año. La marcada estacionalidad de la oferta forrajera y la rigurosidad de los factores climáticos afectan seriamente la supervivencia y reproducción de las majadas (Hall, 2000). En estos sistemas de cría, los animales cosechan a campo una ración diaria que representa su mejor elección frente a las posibilidades que les brinda el pastizal (Borrelli, 2001).

Los pastizales son recursos naturales que el hombre no ha sabido explotar apropiadamente y, como consecuencia del sobrepastoreo, es frecuente que presenten bajos niveles productivos, pérdidas de cobertura y diversidad vegetal, como así también de agua y de suelo (Serna *et al.*, 2004; Gutiérrez, 2005).

El manejo del pastoreo lleva implícito el control de un sistema complejo que incluye la interrelación de animales, pasturas y suelos, y todo el conjunto afectado por las condiciones climáticas. El hombre debe intervenir sobre éstos factores para hacer que

este sistema tan complejo sea productivo, eficiente y, sobre todo, sostenible en el tiempo (Pizzio y Royo Pallarés, 1999).

La determinación correcta del número de animales que son asignados a un potrero ha sido considerada la primera y más importante herramienta para el manejo sostenible de los pastizales (Stoddart y Smith, 1943; Heady, 1975; Heitschmidt y Taylor, 1991). Cuando se utilizan cargas superiores a las adecuadas por un largo período de tiempo la condición del pastizal se deteriora y, en consecuencia, su producción forrajera, lo que a su vez se refleja en menor producción animal y retorno económico (Holechek y Pieper, 1992; citado de Guevara *et al.*, 1995).

La producción animal sobre pastizales naturales es el resultado de un conjunto de decisiones que adopta quien maneja el sistema: cuántos animales poner en un potrero, qué tipo de animal, en qué época y durante cuánto tiempo. Una vez establecido esto, los animales y las condiciones meteorológicas van a determinar la distribución del pastoreo y la producción. Por esta razón, estas decisiones son tan importantes y para tomarlas se requiere conocer cuál será la respuesta productiva de los animales ante distintas opciones de manejo del pastizal (Borrelli, 2001). Asimismo, cualquier decisión acerca de la utilización y manejo de estos sistemas de producción ganadera, debe estar basada en el conocimiento de la distribución temporal y espacial de la producción primaria (Hobbs, 1995; Bork y Werner, 1999).

Laporte (1975) señala que el ritmo de crecimiento de la lana no era uniforme durante todo el año. En sus estudios determinó que el crecimiento era más rápido durante los meses de verano y sugirió que la diferencia de ritmo de crecimiento de la lana puede ser modificado por numerosos factores, siendo el estado nutricional uno de los más importantes.

Según Laporte (1975), quien evaluó el ritmo de crecimiento de la lana en las razas Merino, Corriedale y sus cruizas durante un período de tres años en un estableci-

miento ganadero del Departamento de Ameghino, provincia de Chubut, los mayores diámetros corresponden a las mediciones de fines de primavera y comienzos del verano, y los diámetros menores a los meses de invierno. También observó una gran coincidencia en el aumento del crecimiento de lana y el peso de los animales cuando aparece forraje verde después de un periodo de sequía. Como consecuencia de las bajas temperaturas de invierno no hay disponibilidad de forraje verde en la región, y la respuesta en el crecimiento se observa a partir de fines de agosto y septiembre. El estado de la vegetación, verde o seca, florecida o no, en reposo o en estado de crecimiento, tiene influencia decisiva en el estado nutricional de los ovinos y, en consecuencia, es el factor fundamental que gobierna el ritmo de crecimiento de la lana y diámetro de la fibra.

Brown y Hutchinson (1973, citados de Moscovicci Vidal y Barros, 1981) afirman que el clima ejerce un efecto importante en la productividad de los ovinos a través de su influencia en el crecimiento de la vegetación. La lana crecerá tanto más en la medida que se produzca un crecimiento activo de la pastura, o sea cuando haya un incremento en la disponibilidad de forraje verde con respecto al total de la vegetación. Por su parte, las variaciones que acusan las condiciones meteorológicas se ven reflejadas en el crecimiento de las pasturas, las cuales a su vez inciden en el crecimiento de la lana.

En la región árida patagónica, la actividad agropecuaria está centrada en la explotación ovina y los rendimientos anuales de lana dependen en buena medida de las precipitaciones (Barros y Mattio, 1977). Moscovicci Vidal y Barros (1981) estudiaron la incidencia de la precipitación en la producción anual de lana por animal en la región costera de la provincia de Chubut. Dichos autores, encontraron una alta correlación entre la cantidad de lana producida anualmente por animal y la lluvia caída durante el periodo comprendido entre octubre y noviembre del año anterior a la esquila, y hasta el mes de marzo del año en que se produce la misma.

Uno de los índices de productividad más utilizados en los establecimientos de producción ovina de la Patagonia es el porcentaje de señalada, que se define como el número de corderos señalados respecto del número de hembras en servicio. Dicho por-

centaje sintetiza gran parte de los efectos ambientales y genéticos sobre la reproducción, y es un indicador de la capacidad de una majada de persistir en el tiempo y de generar excedentes que permitan su selección. Además, integra en un valor único, variables poblacionales tales como los porcentajes de preñez, de parición y de muertes perinatales (Hall, 2000).

Según Hall (2000), el porcentaje de señalada es un parámetro particularmente importante en la región patagónica, donde la rigurosidad del clima determina que el ambiente tienda a ser la principal limitante de la sustentabilidad de las majadas. Bajo determinadas condiciones ambientales, como las bajas temperaturas, el número de corderos logrados en un determinado año no es suficiente para cubrir los requerimientos de reposición de hembras, con lo cual el tamaño de la majada se reduce, o aumenta su edad promedio al disminuir el porcentaje de reposición. Por ello, en esta región cobra importancia el concepto de la señalada de equilibrio que se define como el porcentaje de señalada por debajo del cual la majada de hembras no puede autosostenerse al no haber suficientes reemplazos y, por encima, se producen excedentes de hembras (Battro, 1990).

Según los resultados obtenidos por Hall (2000), la mayor disponibilidad de alimento no tendría un efecto lineal y directo sobre la eficiencia reproductiva. La carga animal afectará no solo la disponibilidad de forraje por individuo (Rattray y Jagusch, 1978; Penning *et al.*, 1986; citados de Hall, 2000) sino también la posibilidad de seleccionar la biomasa consumida, afectando así la calidad de la dieta. Este último efecto potenciaría la caída en la productividad animal individual determinada por la menor cantidad de forraje disponible, particularmente en zonas semiáridas, donde la calidad media de las especies vegetales es baja. Estos resultados también fueron reportados por Iglesias y Larrosa (2004), quienes observaron un marcado mejoramiento de los valores reproductivos y una alta correlación entre disponibilidad forrajera del pastizal y el número de corderos logrados a la señalada, en establecimientos localizados en la provincia de Santa Cruz.

Medina-García y colaboradores (2009) resaltan la necesidad de contar con programas de manejo de los pastizales, teniendo en cuenta la carga animal que puedan soportar y las condiciones climáticas que se vayan presentando durante el ciclo de desarrollo de las especies forrajeras, de tal manera que se reduzca el sobre pastoreo, las plantas puedan sobrevivir y recuperarse, y se evite el deterioro del ecosistema, expresado por medio de los recursos agua, suelo y planta.

Numerosos métodos han sido desarrollados en el transcurso de los años para determinar la cantidad de forraje en pie. Los métodos tradicionales frecuentemente consumen mucho tiempo, y no siempre el muestreo de campo ha sido apropiado a los efectos de producir estimaciones precisas de la cantidad de forraje, en particular cuando las áreas son extensas y heterogéneas (Medina-García *et al.*, 2009). La producción primaria neta aérea (PPNA) corresponde a la tasa con la cual se acumula forraje y, como tal, es el principal determinante de la receptividad ganadera. La PPNA se expresa comúnmente en kg de materia seca por hectárea y por año y, a escala regional, es el principal determinante de la carga animal (Oosterheld *et al.*, 1998). Esta variable puede estimarse de manera confiable a partir de imágenes satelitales (Paruelo *et al.*, 1997; Paruelo *et al.*, 2000).

La conjunción de una herramienta tan versátil y potente como la teledetección con los conceptos y modelos derivados de la ecología, presenta una singular capacidad para solucionar los problemas relativos a la evaluación de recursos forrajeros disponibles (Paruelo *et al.*, 2005). El uso de sensores remotos constituye una técnica económicamente factible para realizar estimaciones en grandes áreas (Lobo, 1997; Báez-González *et al.*, 2002).

La teledetección es una técnica que permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación remota sea posible, es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción. El flujo energético que reflejan los objetos cuando la luz solar incide sobre ellos, o direc-

tamente la misma energía que emiten, constituye la señal que permite identificarlos y distinguirlos (Chuvieco Salinero, 2008).

La proporción del flujo de radiación incidente que es reflejada, absorbida y transmitida depende de las características de la superficie que se observa y de la longitud de onda a la que sea observada. Para poder caracterizar una determinada cubierta resulta necesario conocer su comportamiento reflectivo en diversas longitudes de onda, ya que esto facilitará su discriminación frente a cubiertas espectralmente similares (Chuvieco Salinero, 2008).

La observación remota de las cubiertas vegetales puede apoyarse en el gran contraste cromático que presenta la vegetación vigorosa entre las distintas bandas del espectro, y singularmente entre el visible (alta absorción, baja reflectividad) y el infrarrojo cercano (IRC) (baja absorción, alta reflectividad). De ahí que podemos enunciar, como principio genérico, que cuanto mayor sea el contraste entre esas dos bandas, mayor será la cobertura vegetal y/o el vigor de la vegetación, y permitirá una clara discriminación frente a otros tipos de cubiertas. Este comportamiento espectral teórico de las cubiertas vegetales ha sido la base para obtener una serie de índices de vegetación (IV), aprovechando precisamente el contraste entre las bandas del rojo (R) e IRC del espectro. Los IV se construyen a partir de la combinación de estas dos bandas que, por lo general, forman parte de una imagen multispectral. Muy variados en su desarrollo, todos ellos tienden a presentar de forma más nítida las características de la vegetación, facilitando su aislamiento de otras cubiertas y la detección de su estado vital (Bannari *et al.*, 1995; Curran, 1981; Myneni *et al.*, 1995; Sellers, 1989; citado de Chuvieco Salinero, 2008).

Queda implícito que cualquier condición de estrés en la vegetación se expresará en un comportamiento espectral más o menos alejado del anteriormente expuesto. La hoja senescente o enferma tiende a perder actividad clorofílica y, en consecuencia, a ofrecer una menor absorción en las bandas azul y roja del espectro visible. El aumento consecuente de la reflectividad en estas bandas elimina el máximo relativo antes situado en el verde, por lo que la hoja tiende a mostrar un color amarillento. Por el contra-

rio, en el infrarrojo cercano se produce una reducción de la reflectividad, como consecuencia de un deterioro en la estructura celular de la hoja. La curva espectral, por lo tanto, se hace más plana y menos cromática (Jackson *et al.*, 1986; Knipling, 1970; Murtha, 1978; citado de Chuvieco Salinero, 2008).

Análisis temporal

Cuando el objetivo es analizar variaciones estacionales de las cubiertas vegetales de interés, la interpretación se realiza evaluando las distintas fechas de modo simultáneo. La clasificación integra al conjunto de fechas, ya que se pretende caracterizar una categoría a partir de curvas espectro-temporales. Como el incremento en el número de fechas implica aumentar el volumen de cálculo, se aplica previamente alguna técnica de compactación, como el análisis de componentes principales o emplear los índices de vegetación. De esa forma, se procesan sólo las bandas espectrales con mayor contenido informativo, evitando redundancias innecesarias (Maselli *et al.*, 1996).

Un aspecto específico del análisis temporal o estacional es el seguimiento de las condiciones ambientales a lo largo de un período tiempo. A esta categoría pertenece el análisis de fenómenos atmosféricos o de las condiciones vitales de la vegetación, por ejemplo para estimar demandas de riego, predicciones de rendimientos del cultivo o situaciones de peligro de incendios. Este análisis temporal puede abordarse con imágenes estacionales (p. ej., una por estación), o a partir de una serie más periódica, intentando recoger las variaciones temporales de corto plazo. Para éste tipo de análisis suelen emplearse imágenes de alta frecuencia temporal, como son las adquiridas por los sensores AVHRR, VEGETATION o MODIS. Aunque su resolución espacial es baja, al tratarse de imágenes diarias permiten reconstruir con mucho detalle las variaciones en parámetros fisiológicos de las plantas, la dinámica de la cubierta de nieve, de las láminas de riego, o de variaciones en la temperatura, etc.

Satélites y sensores de teledetección

La teledetección, mediante el uso de sensores remotos a bordo de satélites para evaluar propiedades de la superficie terrestre, presenta una extraordinaria capacidad para abordar problemas que, como la producción agropecuaria, tiene una fuerte componente de variación espacial y temporal. El sistema de observación remota ofrece la oportunidad de monitorear, cuantificar y evaluar cambios en la vegetación a gran escala, ocasionados tanto por la acción del hombre como del clima (Yang *et al.*, 1998; Huete *et al.*, 1999, Wang *et al.*, 2001; citados de Xulin y Pierrot, 2004), estimar la producción primaria neta aérea (Liu *et al.*, 2002), predecir el rendimiento de los cultivos (Lee, 1999), o para realizar una caracterización biológica (Guo, 2003).

Las imágenes satelitales permiten tener una visión integral de la superficie terrestre, lo que las ha convertido en una poderosísima herramienta para realizar mapas, tanto generales o no específicos como temáticos. Para este fin pueden utilizarse imágenes completas, porciones de las mismas, o conjuntos de imágenes que exploran una superficie o sector determinado (Elissalde *et al.*, 2000).

Los satélites meteorológicos son los que cuentan con series de tiempo más prolongadas de datos radiométricos, ya que vienen siendo utilizados desde los años setenta. El satélite Terra fue puesto en órbita por la NASA el 18 de diciembre de 1999. Es el primero del programa EOS (Earth Observing System). Terra forma parte de un proyecto multinacional y multidisciplinario con la participación de las agencias espaciales de EEUU, Canadá y Japón. El objetivo de la misión de Terra es el de efectuar el primer chequeo completo de la condición sanitaria ambiental del planeta Tierra. En particular, la misión está diseñada para estudiar el funcionamiento de los ciclos del carbono y de la energía.

El sensor MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo del satélite Terra, escanea cada punto del planeta cada 1-2 días utilizando 36 bandas

espectrales. En virtud de esta amplia resolución espectral, este sensor percibe más datos de los signos vitales de la Tierra que los otros sensores del satélite Terra. De las 36 bandas que posee, algunas se utilizan para extraer información básica y otras para facilitar las correcciones atmosféricas. Las dos primeras bandas, que corresponden al R e IRC, tienen 250 m de resolución. Presenta un área de barrido de 2.300 km, lo que facilita una cobertura prácticamente diaria de la Tierra (Chuvienco Salinero, 2008).

La correcta interpretación de series de tiempo, largas y de carácter global, requiere de la capacidad de discriminar entre el ruido y los cambios fidedignos de los procesos terrestres monitoreados. MODIS ofrece un conjunto de herramientas de estimación de la calidad de la información producida (QA, *Quality Assessment*), que son parte integral del proceso. Estos datos documentan la calidad de los productos desarrollados, con respecto al desempeño deseado. Por esta razón, MODIS permite al usuario consultar la calidad para cada píxel y asegurarse que los productos han sido generados con un determinado estándar (Roy *et al.*, 2002).

Compuestos MODIS

El término compuesto o composición se utiliza en adelante para referirse a una técnica que permite seleccionar la mejor observación obtenida por un sensor dentro de un periodo de tiempo fijo, usualmente 8, 16 ó 32 días, de un determinado sector del territorio. Los compuestos se generan a partir de imágenes diarias, seleccionando para cada píxel el dato de una serie de tiempo que cumpla dos requisitos: ser obtenido próximo al nadir y libre de nubes. Además de eliminar información redundante, se mejora considerablemente la consistencia temporal de la información adquirida por el sensor, a los efectos de realizar un seguimiento continuo en el tiempo y espacio, de la superficie terrestre y la dinámica de la vegetación (Anaya Acevedo, 2009).

El índice de vegetación mejorado (EVI) fue definido por Huete *et al.* (2002), y se plantea como una alternativa más sólida a los índices tradicionales como el NDVI, por ser más robusto frente a la influencia del suelo y de las condiciones atmosféricas. El EVI se define como:

$$EVI = G \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + C_1 \rho_R - C_2 \rho_A + L}$$

donde ρ_A , ρ_R , y ρ_{IRC} son las reflectividades del azul, rojo e infrarrojo cercano, respectivamente, L es la radiancia del fondo, G es un factor de ganancia, y C_1 y C_2 son los coeficientes para corregir la influencia de aerosoles en la banda roja a partir de la azul. Para el cálculo global de este índice (Figura 1.1), que se genera como un producto estándar del programa MODIS, se utilizan $L=1$, $C_1=6$, $C_2=7,5$ y $G=2,5$.

Estudios recientes han mostrado que el EVI es más sensible que el NDVI a contrastes estacionales de la cubierta vegetal, ofreciendo trayectorias temporales más consistentes (Seleska *et al.*, 2007). Xulin *et al.* (2004) comparó ambos índices para evaluar el mejor indicador de zonas con sequía. Su trabajo demuestra que los índices de vegetación de MODIS pueden determinar con eficacia las condiciones de la sequía, especialmente el EVI. Guo *et al.* (2007) evaluaron la diferencia entre éstos dos índices en diferentes ecosistemas, y pusieron de manifiesto que los valores de NDVI eran más altos que los de EVI, diferencia que aumenta desde los desiertos, estepas y áreas cultivadas al bosque. Además, ambos índices plasmaron bien las variaciones en la distribución del crecimiento y vegetación en zonas áridas y semiáridas.

Otro estudio realizado en la estepa Magallánica a escala espacial, destaca que la integral anual del NDVI no fue un buen predictor de la productividad secundaria, cuyos estimadores fueron la carga animal, porcentaje de señalada y tasa de mortalidad de corderos (Posse y Cingolani, 2004). Las causas de dicho comportamiento podrían obedecer a dos motivos: que el NDVI no es un buen sustituto para la estimación de la productividad primaria, o que hay un fuerte control ejercido por la estructura de la vegetación y la productividad de forraje en la productividad secundaria.

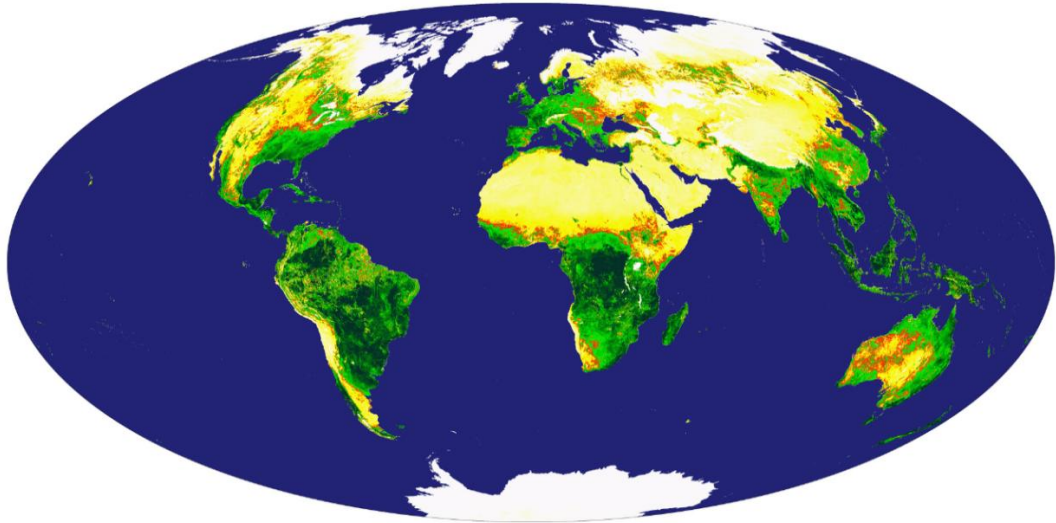


Figura 1.1. Imagen global del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) a partir de datos MODIS (Fuente: <http://visibleearth.nasa.gov/>).

Actualmente en Chubut se está realizando el seguimiento y monitoreo de sequías a gran escala a través del análisis multitemporal de Índices de Vegetación (IV) generados a partir de datos satelitales. Esta metodología ha dado buenos resultados en muchos estudios de casos en ambientes similares (Mohr Bell y Siebert, 2008). En Canadá, Xulin *et al.* (2004) lograron monitorear satisfactoriamente condiciones de sequía utilizando los IV de MODIS, especialmente el EVI. Por otro lado, Kaurivi *et al.* (2003) determinaron, mediante un análisis multitemporal realizado en la región de Santa Rita (Arizona), que la precipitación y la temperatura alteraron la distribución temporal del EVI, especialmente en las áreas con pastizales. En la estepa de Xilingol (Mongolia), Kawamura *et al.* (2003) determinaron que los IV de MODIS eran buenos estimadores de la biomasa verde y de la intensidad de pastoreo (citados de Mohr Bell y Siebert, 2008).

HIPÓTESIS

La productividad ovina, en las majadas de cría extensiva, es afectada tanto por la carga animal como por la disponibilidad hídrica. En este contexto, los índices de vegetación derivados de datos radiométricos constituyen información asociada a la oferta forrajera que se puede utilizar para evaluar el comportamiento productivo de las majadas.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y evaluar modelos predictivos basados en información de disponibilidad hídrica, carga animal e índices de vegetación espectral, para estimar parámetros de la productividad ovina y determinar prácticas de manejo en el área costera de la provincia del Chubut.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar la variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones en el área experimental de la zona costera de la provincia de Chubut y realizar un análisis de tendencia de las precipitaciones para cada establecimiento, como así también evaluar la condición de estacionariedad de la serie.
2. Evaluar el efecto y la incidencia temporal de la disponibilidad hídrica sobre los parámetros de la productividad ovina: carga animal, porcentaje de señalada, producción de lana, finura y rinde al peine.
3. Analizar la relación de la disponibilidad hídrica con índices de vegetación MODIS para determinar en qué periodo del año se expresan cambios en el estado de la vegetación asociados a variaciones en la disponibilidad de agua.

4. Evaluar la relación entre los indicadores de producción ovina y la información espectral para desarrollar modelos predictivos de la productividad ovina a partir de los índices de vegetación MODIS.

5. Desarrollar modelos predictivos para estimar los parámetros de la productividad ovina a partir de la información conjunta de la disponibilidad hídrica y los índices de vegetación MODIS.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se limita a la zona costera de la provincia de Chubut, área de Camarones, comprendida por el departamento Florentino Ameghino, la zona ubicada al sur del Río Chubut (excluyendo la zona bajo riego), parte de los departamentos de Gaiman y Rawson y el sector norte del departamento de Escalante al este del Río Chico correspondiente a la sección catastral D II, fracción D y sección D1, fracciones B y C (Figura 2.1). El área de estudio se encuentra aproximadamente limitada por las siguientes coordenadas: paralelos 43° y 45° 50' S y meridianos 68° y 65° W. En el Anexo I se detallan las características del régimen de precipitaciones y las características fisiográficas del área de estudio.

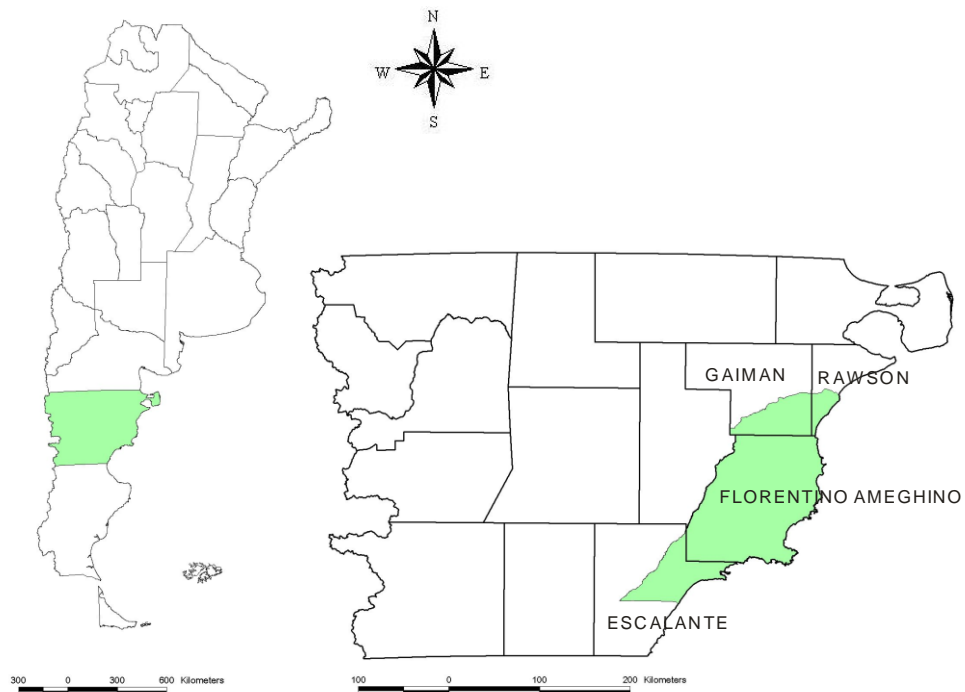


Figura 2.1. Ubicación del área de estudio. Área de Camarones, zona costera de la provincia del Chubut, Argentina.

1.1. Características climáticas

Según la clasificación climática de Köppen-Geiger (Strahler, 1987), que tiene en cuenta simultáneamente las características de precipitación y temperatura ligadas también a la distribución de los tipos de vegetación conocidos, la Provincia de Chubut se encuadra dentro de un clima árido, fresco, cuya temperatura media anual es inferior a los 18°C en el área costera. Hacia el oeste se torna en un clima de estepa, fresco y la franja cordillerana puede comprenderse como un clima propio de grandes alturas (citados de Elissalde *et al.*, 1995).

Como en la mayoría de las regiones ubicadas en latitudes intermedias a altas, el origen principal de las precipitaciones en la Patagonia es de tipo frontal (Bell, 1981). La precipitación anual es menor a 300 mm, y ocurre principalmente durante otoño-invierno (Prohaska, 1952; Hoffmann y Flores, 1989; Canziani *et al.*, 1992). Los estudios climáticos de la estepa patagónica se remiten, por lo general, a consideraciones a nivel de provincia o región, y en escalas temporales poco detalladas. La denominación de árido comprende tanto las tierras áridas y semiáridas, como así también las áreas más desérticas (hiper-áridas). El territorio se caracteriza por presentar precipitaciones escasas y erráticas, que se refleja en niveles de producción agrícola y pecuaria relativamente bajos. Típicamente las tierras áridas reciben menos de 200 mm de lluvia en invierno o menos de 400 mm en verano, mientras que las zonas semiáridas reciben entre 200 y 500 mm de lluvias en invierno o 400 a 600 mm de lluvias de verano (FAO, 1994). La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD) define las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas como “aquellas zonas en las que la proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial (el índice de aridez) está comprendida entre 0,05 y 0,65 (citado de Gratzfeld, 2004).

En la franja costera, la influencia marítima en el campo regional de precipitación es apenas perceptible debido al flujo predominante de vientos del oeste. Estas masas de

aire provenientes del Océano Pacífico atraviesan la cordillera de los Andes e ingresan en las mesetas orientales descargando su humedad a lo largo de éste trayecto (Walter y Box, 1983). Cabe mencionar que entre 40° y 45° latitud sur a sotavento de la cordillera de los Andes se registran precipitaciones superiores a los 3000 mm anuales, en tanto que el promedio climático sobre la zona central y costera de la Patagonia está comprendido entre 100 y 200 mm anuales (Del Valle *et al.*, 1995).

La condición escasa y variable de la lluvia en la región hace importante el conocimiento detallado de su distribución ya que la misma es de vital importancia, entre otras, para la reposición de aguadas y aportes a cuencas. El mapa de precipitación que se presenta en la Figura 2.2 corresponde a valores medios anuales de lluvia del período 1931-1960 registrada por la red pluviométrica provincial (Barros *et al.*, 1979).

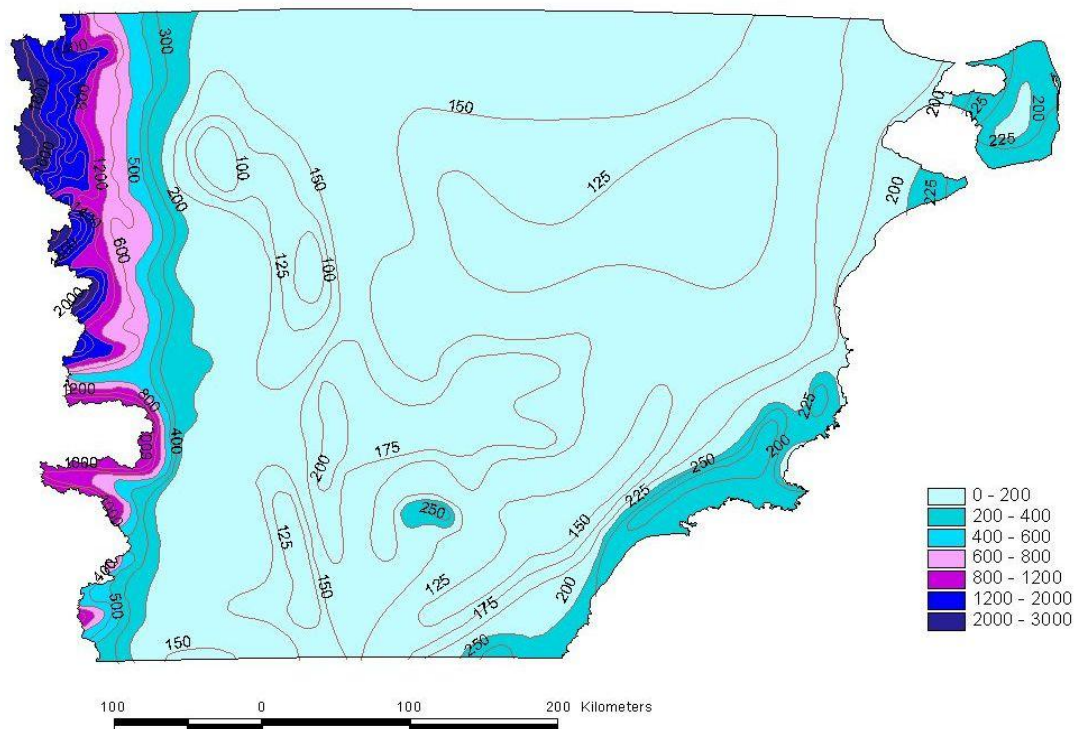


Figura 2.2. Mapa de isohietas de la precipitación media anual (mm) del período 1931-1960 en la Provincia del Chubut (Barros *et al.*, 1979).

1.2. Características Agroecológicas

1.2.1. **Fisiografía:** La mayor proporción del área corresponde a extensas mesetas (Montemayor y Malaspina) que se extiende desde los 600 metros sobre el nivel del mar, en su extremo sur (Pampa de Salamanca), a 200 metros en su extremo noroeste al descender hacia el valle del río Chubut. El relieve de estas mesetas es levemente ondulado presentando pequeñas cuencas cerradas que en muchos casos dan lugar a lagunas temporarias. Sobresalen algunos cerros aislados de baja altura pertenecientes al complejo volcánico (Monte Triste, Chato, Monte Triste Chico, Salpú). El área costera se extiende entre el borde de las mesetas y la línea de costa, presentando un relieve más abrupto. El desnivel entre las mesetas orientales y el mar, está surcado por cañadones que llevan agua de manera temporaria. Se trata de un relieve de valles muy angostos, lomadas y cerros aislados que anticipan el ambiente marítimo, tal el caso de los cañadones Andalu, Salado, Visser y Cañadón Ferrais. Completan esta unidad lomadas rocosas y serranías bajas del complejo porfirítico. Hacia el norte y oeste la continuidad de las mesetas se interrumpe descendiendo la pendiente hacia los ríos Chico y Chubut. Aparecen niveles aterrazados, lomadas, cañadones y abruptas escarpas de más de 70 metros que conforman paisajes casi totalmente desprovistos de vegetación denominados “bad-lands” (INTA, 2002).

1.2.2. **Vegetación:** las comunidades vegetales se van alternando de acuerdo a la heterogeneidad del paisaje, de los gradientes climáticos y altitudinales, del impacto que el uso agropecuario (por acción del pastoreo y el desmote) y el fuego han producido sobre distintos sitios. Las unidades fisonómicas que se presentan van desde los matorrales cerrados en laderas de exposición sur y fondos de cañadones a los peladales de subarbustivas con muy bajas coberturas (inferiores a 10%). Las más comunes son las estepas arbustivas de altura media, con estratos de herbáceas y subarbustos que presentan coberturas entre 40 y 60%. Las herbáceas pueden alcanzar una mayor importan-

cia especialmente hacia el sur del área o en cercanía de la costa formando estepas arbustivo-herbáceas o herbáceo-arbustivas. Los pastos tienen hojas verdes durante todo el año y los arbustos muestran una fenología estacional con un período de dormancia durante el invierno. Evidencia experimental sobre la partición de recursos entre estos dos tipos funcionales de vegetación indican que los pastos absorben agua mayormente de las capas superiores, mientras que los arbustos lo hacen de las capas profundas del suelo (Sala *et al.*, 1989). En las laderas y áreas colinadas que descienden hacia el mar se encuentran estepas arbustivas altas o matorrales que se caracterizan por la dominancia del duraznillo (*Coliguaya integerrima*), especie que puede alcanzar los tres metros de altura y que se caracteriza por presentar hojas siempre verdes y relativamente grandes (contrastando con el limitado tamaño foliar de las especies patagónicas). En el estrato herbáceo aparecen como dominantes los coirones duros (*Stipa speciosa*) y amargos (*Stipa humilis*). En las áreas con mayor disponibilidad de humedad aparece la malaespina (*Trevoa patagónica*) como codominante junto al duraznillo. En algunas situaciones pueden formar matorrales densos, prácticamente impenetrables. Además de los mencionados hay que destacar entre los arbustos que pueden alcanzar un porte de 2 a 3 metros de altura al algarrobo patagónico, el molle (*Scinus joenstonii*) y la barba de chivo (*Prosopidastrum globosum*), todos ellos de gran importancia ecológica como protectores del suelo, del ganado y la fauna. Debido a su uso como combustible estas especies leñosas han sido intensamente extraídas de los campos y actualmente se encuentran protegidas por la legislación provincial. En la extensa superficie de la meseta de Montemayor predominan las estepas arbustivas bajas, con coberturas entre 30 y 60%, cuya especie característica es el quilembay (*Chuquiraga avellanadae*) que puede estar acompañada de un estrato arbustivo alto (hasta 1,5 m) muy abierto de mata mora (*Nardophillum chilotricoides*), mata laguna (*Lycium ameghinoi*), yaoyín (*L. chilense*), verberna (*Juanellia ligustrina*) y mata brasilera (*Boungavillea spinosa*). Las especies características del estrato subarbustivo (10-15 cm) son cola de piche (*Nassauvia glomerulosa*), mancaperro (*N. ulicina*), falso tomillo (*Franke-*

nia patagónica), las cuales también pueden encontrarse como dominantes en los ambientes más xéricos ya sea por características naturales del paisaje o por ser sectores sometidos a procesos intensos de erosión. Las principales especies forrajeras de la zona entre las herbáceas son: el coirón poa (*Poa ligularis*), cuya abundancia es un indicador de la calidad de los campos de pastoreo; la flechilla, especialmente en los sectores más cercanos a la costa; el pasto hebra (*Poa lanuginosa*), en los suelos de textura arenosa; el coirón duro, especie de preferencia intermedia pero de mayor abundancia que las anteriores. Entre las arbustivas de valor forrajero se destacan: yaoyín, la verbena y el sulupe (*Ephedra ochreatea*) (INTA, 2002).

2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ESTABLECIMIENTOS

La información de productividad se obtuvo de distintos establecimientos de la región dedicados a la producción ovina. La incorporación al estudio de estos establecimientos rurales se realizó de acuerdo a distintos criterios de selección. Uno de ellos fue la disponibilidad, accesibilidad y extensión de los registros. Cada establecimiento seleccionado, contaba con registros históricos de precipitaciones mensuales y de índices de productividad confiables para un período de 14 años, a los cuales se les pudo aplicar el análisis estadístico sin necesidad de completar las series.

El segundo criterio se vinculó a la necesidad de homogeneizar aspectos del manejo y características de las explotaciones que no fueron considerados expresamente en este análisis. Para ello se seleccionaron establecimientos dedicados principalmente a la ganadería ovina extensiva, con animales de la raza Merino. Los datos fueron adquiridos directamente del Cuaderno de campo de cada establecimiento (Menedín y La Torraca, 2004), herramienta que le permite al productor contar con toda la información ordenada y sistematizada de un ciclo productivo, y que está diagramado además para realizar el diagnóstico de funcionamiento de la explotación. De acuerdo con esto, se asume que la

calidad y confiabilidad de la información es apropiada para realizar el análisis propuesto.

Los datos que se obtienen del Cuaderno de campo corresponden a un año lanero, que se extiende desde la fecha de servicio de un año al siguiente. La información que habitualmente dispone el ganadero es la siguiente: cantidad de capones, borregas y borregos a primera esquila, número de ovejas a servicio, corderos/as señalados, corderos y corderas destetados, edad al refugio, consumo, mortalidad, ventas y compras si las hubiera. Con los datos de la esquila se determinaron sin discriminar por categoría animal, la producción de lana, su finura y rinde al peine.

La E.E.A. INTA Chubut, integra el Proyecto de Desarrollo Ganadero de Lana Camarones, asesorando a siete de los establecimientos relevados. Además de los establecimientos que integran ese proyecto, se analizaron otras doce empresas agropecuarias totalizando diecinueve establecimientos en toda el área, que satisfacen los dos criterios establecidos. De los diecinueve establecimientos, cuya localización se presenta en la Figura 2.3, solo nueve disponen series históricas de lluvia, en tanto que el resto no llevan registros o los datos son discontinuos.

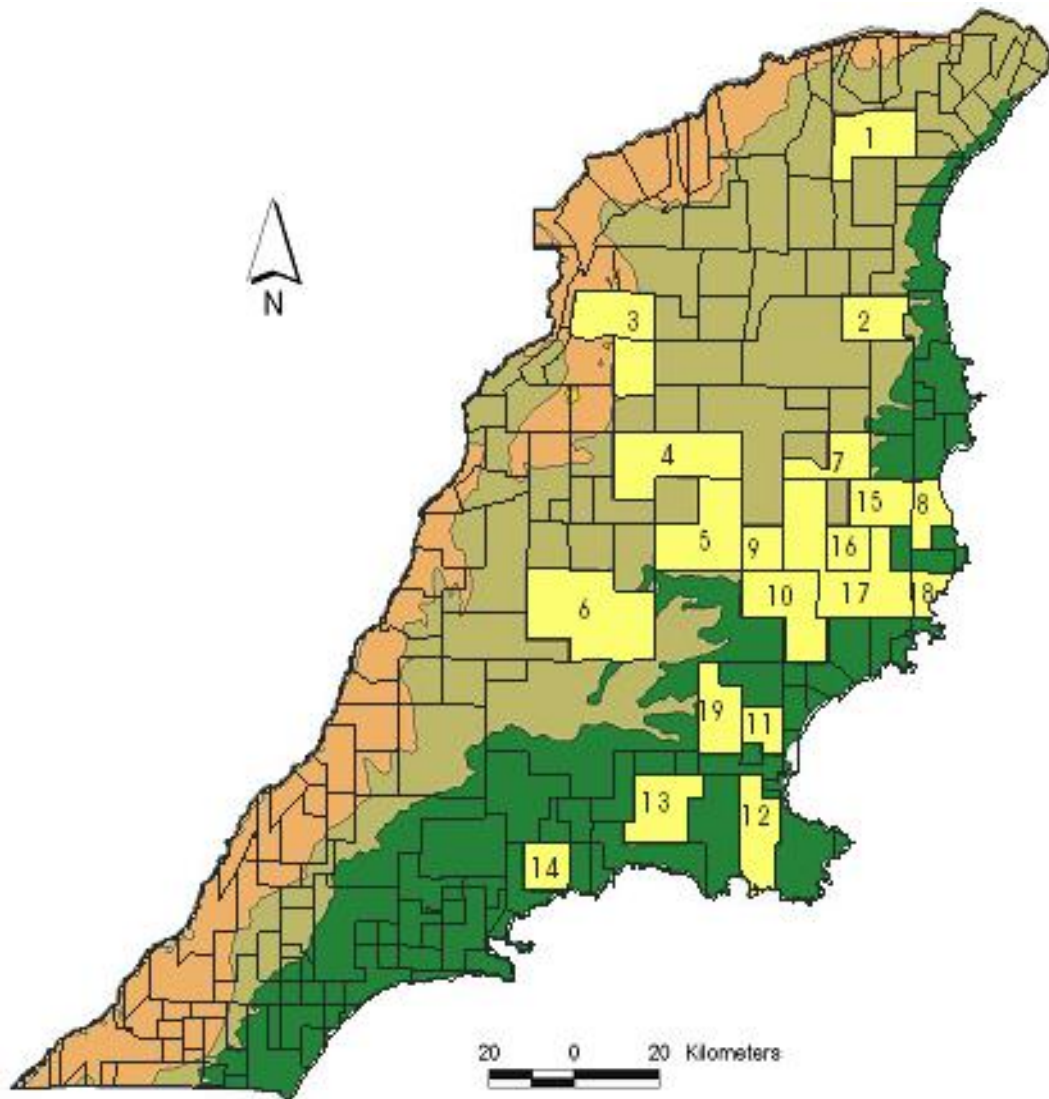


Figura 2.3. Mapa del área de estudio con la división catastral de los establecimientos. **Establecimientos:** Pozo Hondo (1), La Argentina (2), La Esperanza (3), San Felipe (4), La Filomena (5), La Rosa (6), San Eduardo (7), Berna (8), La Juanelia (9), La Margarita (10), María Sofía (11), El Sauce (12), La Isabel (13), Cerro Cóndor (14), Cabo Raso (15), La Teutonia (16), La Maciega (17), Santa Elena (18) y San Jorge (19). **Unidades de paisaje:** Área costera (■); Lagos y lagunas (■); Pedimentos mesetiformes, piedemontes y terrazas (■); Relieve de erosión del grupo Chubut y complejo porfirítico (■); Valles y planicies aluviales (■).

Los establecimientos presentan una extensión con un rango entre 50.000 y 5.900 hectáreas. La cantidad de animales varía según los años, presentando rangos que van desde 19.000 a 1.200 ovinos por establecimiento.

3. MANEJO DE LA MAJADA EN LA REGIÓN

La Figura 2.4 presenta un cuadro que describe, de manera general, el ciclo productivo de un rodeo de cría lanar. En él se indican las etapas del ciclo anual de producción, tareas y época del año en que se practican. Cabe aclarar que se considera un ciclo completo, desde el servicio (encarnerada) de un año al servicio del año siguiente. Se consideran implícitas dentro de todas las etapas las tareas de cuidado de los animales y de las condiciones del campo que son necesarias a lo largo de todo el ciclo.

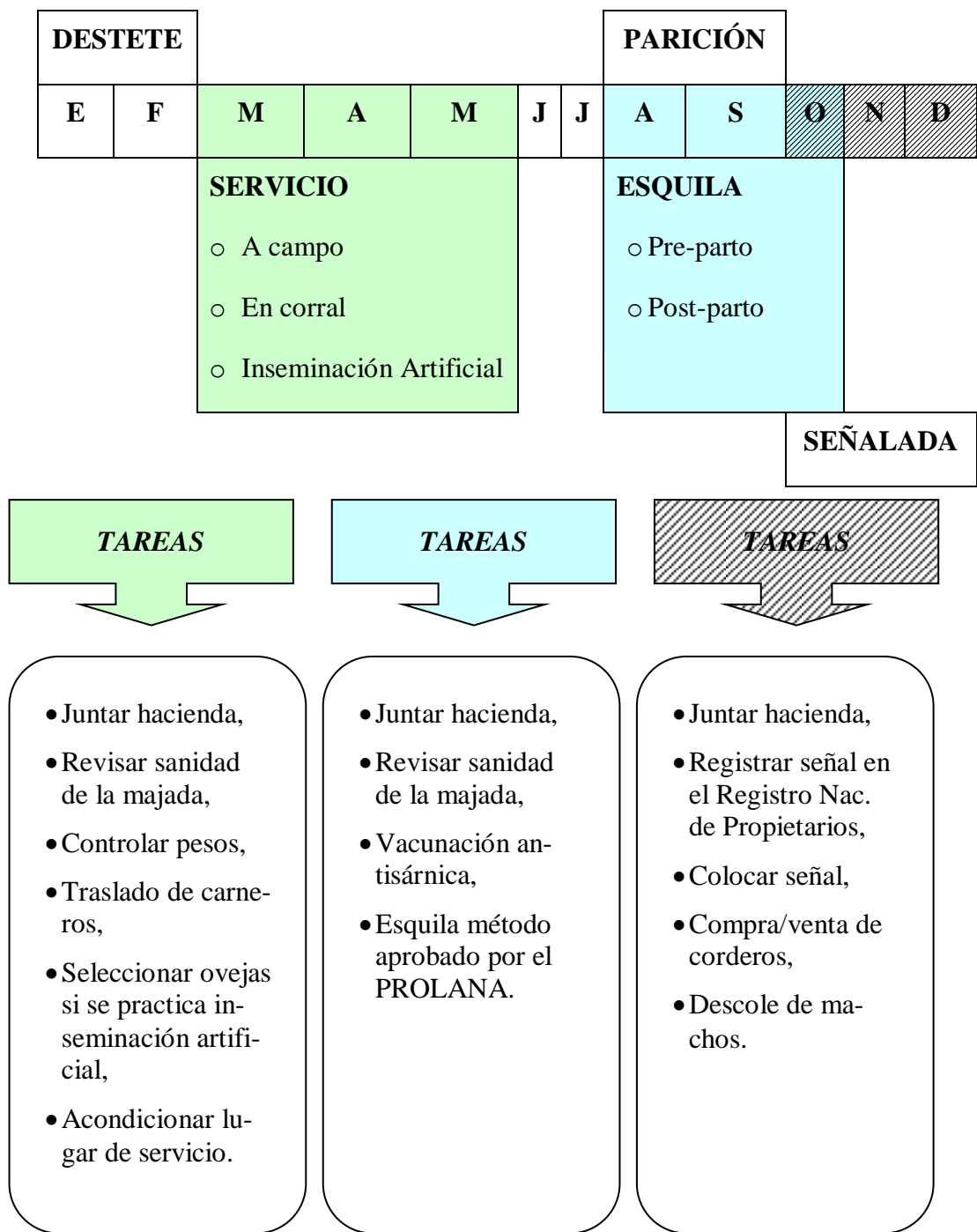


Figura 2.4. Ciclo anual de producción de un rodeo de cría lanar.

Los esquemas ganaderos están asociados a planteos extensivos, con un sistema de pastoreo continuo (año redondo). El plan de actividades se inicia con el servicio, el cual se realiza en promedio en el bimestre marzo-abril. En consecuencia las pariciones ocurren en el bimestre agosto-septiembre, aspecto que en los últimos 10 años está aso-

ciado con la incorporación de la práctica de esquila pre-parto, la cual se ha generalizado en toda la región.

A nivel genético, se observa que los establecimientos no disponen en general de esquemas sistemáticos de mejoramiento, realizando la compra de carneros en ferias, exposiciones y remates de cabañas de referencia, utilizando en su compra criterios de selección subjetiva y, más recientemente, el resultado de análisis de diámetro medio de fibra (finura).

Las condiciones de aridez determinan una baja incidencia de enfermedades, resultando los principales problemas sanitarios el control de ectoparásitos (melophago y sarna), enfermedades clostridiales (mancha y enterotoxemia) y, en menor medida, ecti-ma contagioso (boquera) y queratoconjuntivitis (ceguera). La esquila actualmente más difundida es de tipo desmaneada bajo la modalidad Tally Hi, en tanto el vellón se acondicionó y clasificó bajo la modalidad propuesta por el PROLANA a partir del año 1995.

4. ANÁLISIS DE DATOS

4.1. Cuantificación de la disponibilidad hídrica

Se analizaron totales de lluvia mensual de los años 1995 a 2008, contabilizando un total de 14 años para los nueve establecimientos que disponen de estos registros. Los registros mensuales de lluvias fueron obtenidos de pluviómetros convencionales ubicados en la proximidad a los cascos de los distintos establecimientos del área de estudio. En la Tabla 2.1 se detalla la ubicación geográfica de cada pluviómetro.

Tabla 2.1. Ubicación geográfica de los pluviómetros en los distintos establecimientos ganaderos.

<i>Establecimiento</i>	<i>Latitud</i> (° ' ")	<i>Longitud</i> (° ' ")	<i>Altura</i> <i>m msnm</i>
Berna	-44 19 50	-65 21 10	194
Cerro Cóndor	-44 00 45	-66 24 40	44
La Argentina	-43 54 19	-65 28 24	250
La Filomena	-44 21 44	-65 56 58	339
La Isabel	-44 49 16	-66 07 43	133
La Teutonia	-44 22 14	-65 33 14	242
San Eduardo	-44 11 09	-65 34 53	244
San Jorge	-44 41 52	-65 58 50	280
Santa Elena	-44 27 46	-65 22 08	34

El año productivo fue considerado desde el mes de septiembre del año previo a la zafra lanera, hasta agosto del año en que se produce la misma, para poder evaluar la incidencia de las precipitaciones previo al comienzo de las prácticas laneras (septiembre). Con respecto a los bimestres utilizados se adoptaron bimestres consecutivos sin superposición a partir del mismo mes de septiembre, teniendo en cuenta que en un análisis preliminar con los índices productivos no hubo diferencias con respecto a bimestres con superposición, con lo cual se tomó la decisión de continuar el análisis a partir de éste agrupamiento bimestral.

Los valores de precipitación anual se evaluaron por regresión lineal y el comportamiento de la tendencia se analizó para cada establecimiento según el método de Dracup *et al.* (1980).

La evapotranspiración potencial se estimó según Thornthwaite (1948) utilizando programas en ambiente Excel desarrollados por Mormeneo y Castellví, (2005) para los cálculos de evapotranspiración potencial de referencia (ETP) y de los balances hídricos, corriendo el programa con varios años previos (dependiendo de la serie histórica del

establecimiento) para estabilizar el agua del suelo al momento de realizar las estimaciones.

Según Thornthwaite (1948), ETP es la cantidad de agua que se evaporaría de la superficie del suelo y la que transpirarían las plantas si el suelo tuviera el contenido óptimo de humedad y la cobertura de un pasto corto fuera completa. Thornthwaite (1948) estima la ETP con la siguiente fórmula:

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^{\alpha}$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial en mm.

I: índice calórico, constante para la región dada y es la suma de 12 índices mensuales i , donde i es función de la temperatura media normal mensual [$i: (t/5)^{1,514}$].

T: Temperatura media mensual (no normal) en °C

α : Exponente empírico, función de I

$$\alpha = 6,75 \cdot 10^{-7} I^2 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

La evapotranspiración potencial ajustada se calcula corrigiendo el valor de ETP en base a la duración del mes y longitud del día (porque la fórmula presupone un mes tipo de 30 días, de 12 horas diarias de heliofanía posible). Para ello, entrando con la latitud del pluviómetro y el mes correspondiente se obtiene un factor que, multiplicado por ETP mensual da la evapotranspiración ajustada.

El balance hídrico según la metodología de Thornthwaite en su variante seriada o secuencial se consideró a partir de la ETP y la precipitación mensuales para el período de años entre 1995 y 2008. Para el cálculo de ETP se utilizaron las temperaturas medias mensuales para la misma serie. Los datos de temperatura utilizados fueron los de la estación meteorológica de la Estación Experimental Chubut, INTA; y datos del Servicio

Meteorológico Nacional de la ciudad de Comodoro Rivadavia. El criterio utilizado para emplear un dato de temperatura u otro fue el de la proximidad al establecimiento. Se trabajó con una capacidad media de retención de agua en el suelo de 200 mm (Burgos *et al.*, 1992).

La evapotranspiración real (ETR) es la cantidad de agua que efectivamente se evapora del suelo y transpiran las plantas en un tiempo dado y según su contenido de humedad. En las diferentes regiones del continente o en las diferentes regiones de los continentes, en general, la ETR es muy inferior a la ETP; esta diferencia es máxima en zonas áridas y desérticas (Rodríguez Sáenz, 1973).

De esta manera se puede conocer el agua que se pierde por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas, también la cantidad de agua almacenada en el suelo y aquella que se escurre superficialmente y en profundidad. Así habrá meses en que el aporte de agua será suficiente y meses en los que se registren excesos o deficiencias de agua en el suelo (Scian y Mattio, 1975). También pueden darse situaciones extremas en que durante todo el año las lluvias sobrepasen las necesidades de agua o viceversa. Las series de excesos y deficiencias son las de mayor interés por ser los componentes más utilizados para caracterizar el balance de agua en el suelo a nivel regional. En la zona estudiada ocurre el caso extremo en que durante todo el año las precipitaciones no cubren las necesidades de agua, por lo tanto estamos en un permanente déficit hídrico.

Para la evaluación de la disponibilidad hídrica se emplearon dos variables: la precipitación y la relación entre la evapotranspiración real (ETR) y la evapotranspiración potencial (ETP), índice que responde a la expresión siguiente:

$$IE = \frac{ETR}{ETP}$$

Este índice de evapotranspiración relativa (IE) es una de las medidas más sintéticas que existen para expresar el grado de sequía experimentado en un lugar dado, especialmente en lo concerniente a la sequía edáfica, es decir, aquella relacionada con la disponibilidad de agua del suelo. Se elabora a partir de la comparación entre ETP, que es el consumo del agua del sistema suelo-planta-atmósfera en el supuesto de que el único factor limitante fuera la energía necesaria para realizar el proceso (es decir, cuando no hubiera ninguna limitación hídrica), y la ETR, que es el consumo de agua realmente experimentada por el sistema. Cuando el aprovisionamiento de agua del suelo es adecuado $ETR=ETP$, en tanto la insuficiencia de agua produce valores $ETR<ETP$. En consecuencia, la diferencia entre ambas magnitudes expresa la falta de agua al nivel de la vegetación y el cociente entre ambos parámetros, es decir, el índice de evapotranspiración, representa una buena medida de la sequía. Los valores inferiores a la unidad son indicativos de condiciones de déficit de agua.

4.2 Cuantificación de índices productivos

Las muestras de lana y datos de producción se obtuvieron de los cuadernos de campo para los establecimientos que integran el Proyecto de Desarrollo Ganadero de Lana Camarones; del registro de los propietarios para aquellos que no integran dicho Proyecto y del Laboratorio de Lanas, Rawson (Convenio INTA – Gobierno del Chubut).

Las propiedades más importantes de las lanas sucias son evaluadas mediante métodos de ensayo estandarizados por la Federación Lanera Internacional (Internacional Wool Textile Organization), conocidas como método IWTO-XX, y regulaciones asociadas (Elvira, 2004). Los resultados que arrojan los análisis de laboratorio es una información importante tendiente a mejorar tanto la producción como la comercialización de la lana. La medición objetiva de las características que presenta la lana, a partir de

una muestra representativa del lote, permite a los productores conocer la calidad obtenida, que determina en forma directa el precio del mismo.

Las ventajas de realizar el análisis son las siguientes:

- Permiten conocer tanto las virtudes y los defectos de su producción, así como decidir los cambios de manejo para mejorar el producto final.
- La información del análisis de laboratorio, junto con la información de precios del mercado, permiten establecer con mayor certidumbre el valor de la lana.
- La disponibilidad de información objetiva sobre la calidad de la lana es una condición necesaria a la hora de comercializar un lote, ya sea en el mercado nacional como internacional.

Los índices productivos y de calidad que se utilizaron en este trabajo fueron:

Finura o Diámetro Medio de Fibras: es el promedio de los diámetros de las fibras limpias de lana. Se lo obtiene actualmente utilizando el analizador óptico de imágenes OFDA. Es la característica comercial más importante porque define su posible uso industrial. Se mide en micrones o micras. El error del método de ensayo es del orden de 0,35 micras en 20 micrones, que disminuye con diámetros menores y aumenta en los mayores.

Rendimiento al Peinado Schlumberger seco: es el rendimiento comercial de un lote de lana que es procesado industrialmente en una peinaduría. Es otra característica comercial muy importante porque permite conocer la cantidad de lana peinada a obtener. Su valor se expresa como un porcentaje respecto del lote sucio y es afectado por la cantidad de contaminantes (suciedad, materia vegetal) y suarda de la muestra de lana.

Porcentaje de señalada: es el número de corderos señalados (aproximadamente tres semanas luego de concluir la época de parición) respecto del número total de ovejas servidas.

Producción de lana: corresponde al peso del vellón sin barriga del total de animales esquilados, utilizando una balanza con escala de cien gramos. El total de lana sucia se divide por la cantidad de animales, obteniendo así la producción de lana por animal. La cantidad de lana sucia producida en un año de crecimiento por categoría animal (adultos y borregos) ajustado por el rinde, generalmente es expresado como base limpia. La producción de lana fue evaluada por unidad de superficie (kg ha^{-1}) y por animal (kg animal^{-1}).

4.3 Análisis y procesamiento de imágenes satelitales

Las imágenes MODIS se organizan en ventanas de $10^\circ \times 10^\circ$, formando un sistema de referencia mundial (Figura 2.5). Así, cualquier punto sobre la superficie terrestre puede ubicarse con la intersección de filas (horizontal) y columnas (vertical) de un plano cartesiano. Para la zona de estudio fue preciso descargar las ventanas H12V13 y H13V13, que incluyen la totalidad de la provincia de Chubut (Figura 2.6).

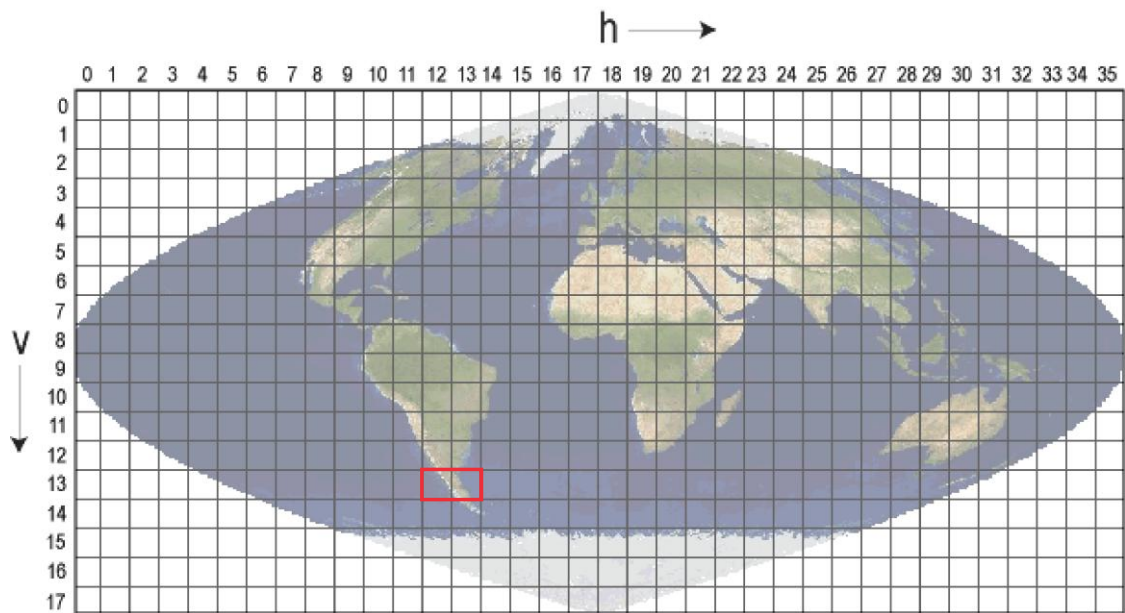


Figura 2.5. “Tiles” del sistema de grilla sinusoidal del producto EVI, MODIS.

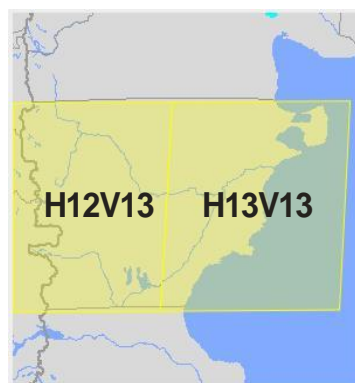


Figura 2.6. “Tiles” que abarcan el área de estudio para la zona de Camarones, provincia del Chubut.

Las tareas de procesamiento de las imágenes se realizaron en el Laboratorio de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica de la E.E.A. Chubut del INTA.

Como material base se utilizaron una serie de imágenes del sensor MODIS (resolución espacial de 250 m) de los años 2000 al 2008, obtenidas desde WIST (Warehouse Inventory Search Tool). De las imágenes se extrajo la banda correspondiente al índice de vegetación mejorado (EVI) a través del software de libre distribución MRTools (U.S. Geological Survey, 2008). El producto EVI corresponde al máximo

valor compuesto (MVC) con una periodicidad de 16 días. En ellas se recortó el área de estudio, considerándola como el perímetro de todo el establecimiento, y se obtuvieron los valores EVI para dicha área (Figura 2.7) calculándose un valor medio por cada imagen obtenida. La resolución espacial del MODIS no es limitante dado el tamaño de los establecimientos. Las imágenes MODIS/TERRA fueron adquiridas directamente del servidor web de NASA (<https://wist.echo.nasa.gov/api/>) en forma gratuita y pre procesadas, de las cuales se extrajo la información correspondiente a los índices de vegetación NDVI (*normalized difference vegetation index*) y EVI (*enhanced vegetation index*) (Huete *et al.*, 2002).

En este punto, es importante resaltar la alta resolución temporal de este sensor que permite generar imágenes repetitivas del mismo sitio a lo largo del tiempo. Esta información ha demostrado ser de gran utilidad para generar series de tiempo y hacer el seguimiento de procesos continuos, como por ejemplo cambios fenológicos de la vegetación, ó procesos discretos como la identificación de áreas quemadas (Anaya Acevedo, 2009).

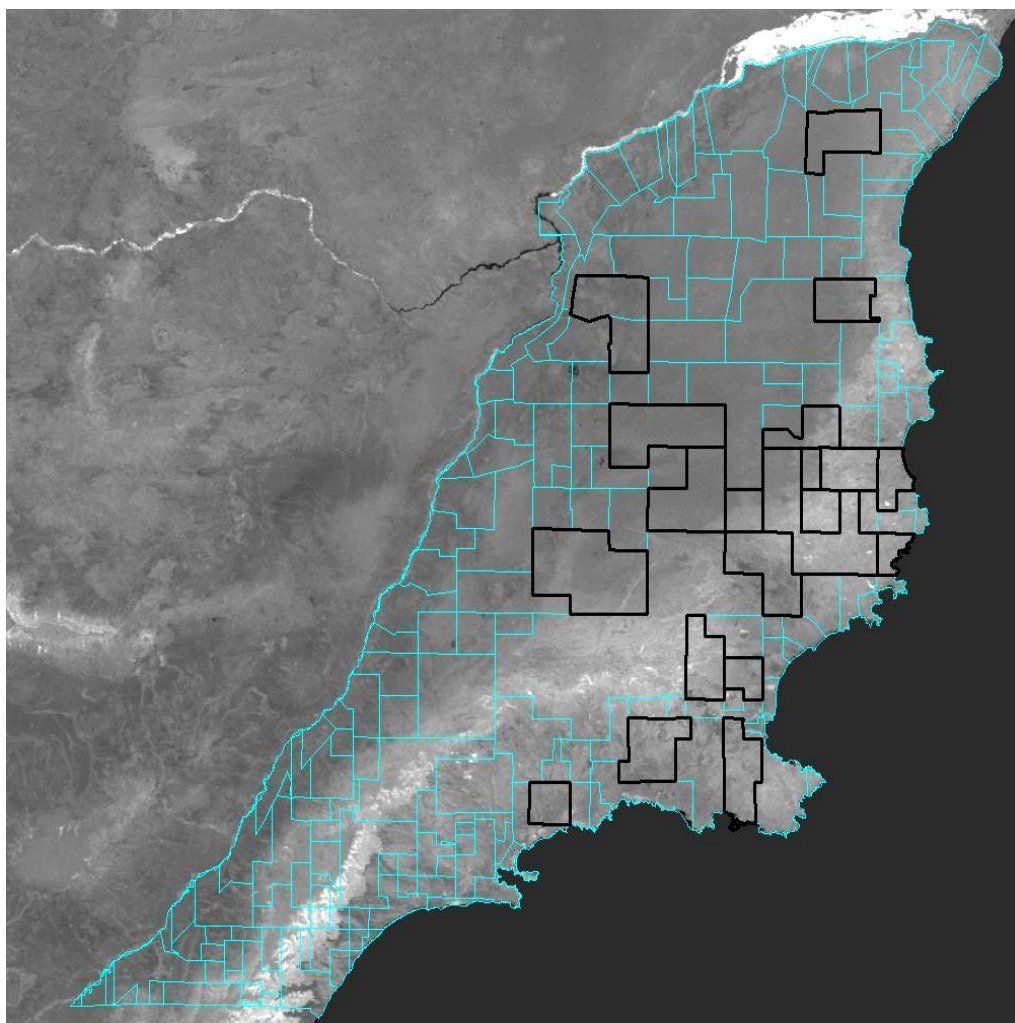


Figura 2.7. Imagen satelital EVI, con la ubicación de los establecimientos del área de estudio. En negro se señalan los establecimientos estudiados, en celeste se remarcan los establecimientos que abarca el área costera de Camarones.

El IV considerado de manera particular en este trabajo ha sido el EVI, con sus respectivos valores de calidad (Quality Flags). Según los resultados obtenidos por Huete *et al.* (1999), el EVI es el índice más adecuado para zonas con poca cobertura vegetal y abundante suelo desnudo.

La explicación de los valores de calidad reportados en los índices, pueden consultarse en: https://igskmncnwb001.cr.usgs.gov/modis/moyd13_qa_v4.asp. Los NDVI y EVI de MODIS denominados MOD13*, utilizan como datos de entrada los valores de reflectividad en superficie MOD09 (compuesto de ocho días). Existen cuatro productos

de índices de vegetación distintos dependiendo de la resolución espacial y temporal de los compuestos (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Productos considerados para caracterizar la vegetación en el programa MODIS.

<i>Longitud del compuesto y tamaño del píxel</i>	<i>Terra(1)</i>	<i>Aqua(2)</i>
IV 16 días (250 m)	MOD13Q1 V004,5(3)	MYD13Q1 V004
IV 16 días (500 m)	MOD13A1 V004,5	MYD13A1 V004
IV 16 días (1000 m)	MOD13A2 V004,5	MYD13A2 V004
IV mensual (1000 m)	MOD13A3 V004, 5	MYD13A3 V004

(1) MOD: Terra, horas de la mañana

(2) MYD: Aqua horas de la tarde

MCD: Terra + Aqua

(3) V004, V005. Versiones 4 y 5 respectivamente. La versión 5 se encuentra limitada para distribución en Internet hasta los datos de finales de 2001 (nota de dic-18-2006)

Los datos radiométricos que se utilizan para el cálculo del EVI son la banda que corresponde al infrarrojo cercano IRC (841-876 nm), la que corresponde al rojo (620-670 nm) y al azul (459-479 nm). Se analizó una serie entre los años 2000 al 2008, obtenidas desde WIST (Warehouse Inventory Search Tool).

Cada producto MODIS se encuentra acompañado de su respectiva información de calidad, que varía según sus características o procedimientos empleados en su generación. De esta forma, cada píxel contiene un estimado de calidad, que puede utilizarse para reemplazar aquellos marcados con baja calidad empleando métodos de interpolación lineal basados en píxeles vecinos en el tiempo o en el espacio. En este trabajo se realizó la interpolación lineal en series temporales.

En este trabajo se utilizaron compuestos de 16 días, obtenidos a partir de las imágenes diarias. Se realizó un análisis visual de todas las imágenes donde se pudo observar que algunas contenían zonas con errores propios del satélite mostrando manchas en ciertos sectores. Los píxeles de baja calidad fueron reemplazados en toda la serie de tiempo, dado que se conocía su ubicación espacial y temporal, y fueron reemplazados

con interpolaciones lineales entre compuestos temporales adyacentes anteriores y posteriores. Dado que el filtro es temporal se realizó en una sola dirección y corresponde al promedio de las cuatro fechas adyacentes, dos antes (t-2 y t-1) y dos posteriores (t+1 y t+2) del valor a reemplazar, de acuerdo a siguiente esquema:

t-2	t-1	t	t+1	t+2
0.25	0.25	(X)	0.25	0.25

(X): Píxel de baja calidad.

t: es el período

Una vez obtenidos los valores para cada imagen, se procedió a la aplicación de un suavizado para reducir el ruido, a partir de medias móviles para tres períodos con el programa Infostat a través de la opción de suavizado de series de tiempo.

La Figura 2.8 compara los valores originales MOD13A1-EVI con los obtenidos después de aplicar tanto el filtro temporal descrito arriba, como el filtro de suavizado de medias móviles.

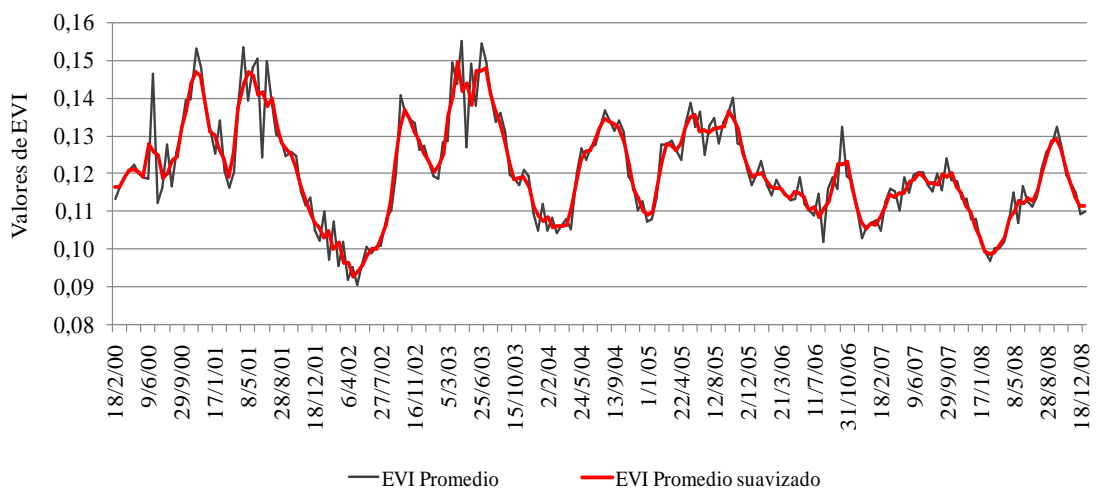


Figura 2.8. Comparación de valores de EVI promedio de todos los establecimientos y los valores EVI promedio con aplicación del filtro y suavizado.

Para todo el periodo (2000-2008) se analizaron 205 imágenes por establecimiento. A los efectos de comparar con el resto de las variables se calcularon los promedios mensuales, bimestrales y el promedio anual. Con los valores del IV procesados cada 16 días se realizó un promedio entre las dos imágenes para estimar un valor mensual y compararlos con el resto de las variables en estudio.

5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis exploratorio de la precipitación para los nueve establecimientos del área de estudio. Se analizaron independientemente y en conjunto las precipitaciones medias anuales, mensuales y bimestrales del periodo 1995-2008. Se efectuó un análisis de tendencia utilizando modelos de regresión lineal (Dracup *et al.*, 1980) para cada establecimiento, como así también se analizó la condición de estacionariedad de la serie.

Las precipitaciones anuales, mensuales y bimestrales se correlacionaron con los índices productivos a través del coeficiente de correlación de Pearson. Mediante éste procedimiento se seleccionaron los meses o bimestres que mejor explicaban la variabilidad de los índices productivos, y/o se identificó el orden de importancia relativa de las distintas variables independientes. Esta misma metodología se llevó a cabo con el IE. Se realizaron regresiones lineales entre las precipitaciones y el IE anual con las variables productivas, y entre las precipitaciones y el IE anual y bimestral para evaluar la relación de ajuste entre ambas variables independiente y dependiente, respectivamente.

Una vez identificadas las variables que mejor correlacionaban con los índices productivos, se elaboraron modelos estadísticos a través del software LAB Fit. Primero se determinaron los coeficientes de regresión y se seleccionó la expresión de mayor valor explicativo, que luego se ingresó al software estadístico Statistica 8.0 para realizar el gráfico correspondiente. En los modelos se utilizaron dos variables independientes,

una de carácter tecnológica como la carga animal y otras meteorológicas o ambientales como las precipitaciones, el IE y el EVI.

Se realizaron regresiones lineales entre el EVI y los promedios anuales de precipitación, y el IE del promedio de todos los establecimientos. Asimismo, se analizaron las correlaciones de Pearson entre las precipitaciones y el IE mensuales con los valores mensuales de EVI. La misma metodología se aplicó para la variable utilizando valores bimestrales, tanto para las variables regresoras como de respuesta. También, se realizó un análisis de regresión lineal individual para todos los establecimientos entre los valores de IE y EVI.

Para el análisis del índice de vegetación con los índices productivos se incorporaron diez establecimientos y se realizó la correlación entre los bimestres de EVI y los índices productivos seleccionando las regresiones que mejor explicaban la variabilidad de cada uno de los índices productivos. Se realizó el modelo y el gráfico en tres dimensiones para cada variable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. EVALUACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN EL ÁREA DE ESTUDIO

El alto grado de variabilidad espacial y temporal de la precipitación en las zonas semiáridas determina la necesidad de contar con series extensas para que los promedios tengan representatividad climática. Como en este caso la serie es corta, abarcando el periodo entre 1995 y 2008, los valores medios solo reflejan las condiciones pluviométricas del período analizado, pero adquieren gran interés a los efectos de evaluar la influencia de la lluvia sobre la productividad ovina.

A partir de los registros de lluvia del período disponible (1995-2008) se calcularon las precipitaciones medias mensuales para cada uno de los establecimientos (Tabla 3.1). Se observa un comportamiento similar en la ocurrencia de la lluvia, tanto en términos de cantidad como de distribución, para cada una de las series y de los establecimientos ganaderos, al igual que con la precipitación media anual como muestra la Figura 3.2.

En la Tabla 3.1 se muestran los valores medios mensuales y anuales de precipitación del período 1995-2008 para cada uno de los nueve establecimientos del área de estudio. A los efectos de un análisis posterior, los establecimientos se agruparon considerando un límite de cinco por ciento por encima o por debajo de la media anual. Para un valor de 263 mm, se observa que los establecimientos San Jorge (310,8 mm), La Argentina (301,8 mm), La Teutonia (298,8 mm) y La Isabel (275,8 mm) presentan un total anual de lluvia por encima de la media de la zona de estudio. Por su parte, los establecimientos Berna (256,9 mm) y Cerro Cóndor (252,7 mm) se encuentran con valores cercanos a la media, y los establecimientos San Eduardo (239,9 mm), Santa Elena

(232,9 mm) y La Filomena (197,3 mm) presentan un total anual de lluvia inferior a la media.

Tabla 3.1. Precipitaciones (mm) medias mensuales y anual para el período 1995-2008, para los nueve establecimientos del área de estudio.

Establecimiento	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Berna	13,6	28,0	23,1	19,8	38,1	34,5	16,3	16,3	23,6	13,8	18,3	11,4	256,9
Cerro Cóndor	10,6	23,1	28,9	18,0	31,1	37,3	19,6	23,2	25,0	11,8	11,5	12,7	252,7
La Argentina	16,6	25,3	29,4	33,7	39,0	41,2	17,5	18,3	25,3	22,3	20,9	12,5	301,8
La Filomena	6,8	16,1	25,5	14,5	30,6	17,2	15,2	15,7	20,8	15,5	14,3	5,2	197,3
La Isabel	9,7	31,2	34,6	19,0	36,6	28,2	21,8	24,9	34,4	17,8	9,0	8,7	275,8
La Teutonia	10,3	30,8	31,6	26,3	41,3	34,9	18,0	22,0	28,8	18,4	17,9	18,6	298,8
San Eduardo	10,0	25,8	25,0	25,4	35,8	30,8	12,0	16,9	17,0	14,3	13,4	13,7	239,9
San Jorge	11,9	36,3	36,4	27,1	38,1	34,6	26,9	20,8	26,4	18,0	15,6	18,7	310,8
Santa Elena	12,2	26,2	18,8	23,4	33,2	25,0	14,0	14,8	21,4	15,2	15,1	13,6	232,9
PROMEDIO	11,3	27,0	28,2	23,0	36,0	31,5	17,9	19,2	24,7	16,3	15,1	12,8	263,0

En la Figura 3.1 se observa la ubicación de los establecimientos clasificados según el criterio anteriormente citado. En dicha figura se muestran también las isohietas correspondientes al trabajo realizado por Barros *et al.* (1979), obtenidas a partir de información pluviométrica normal del periodo 1931-1960. Los registros de lluvia de cinco de los nueve establecimientos de éste estudio también fueron analizados en el trabajo de Barros *et al.* (1979). Aunque corresponden a períodos distintos, se observa una similitud marcada entre los valores de los establecimientos que se encuentran en la isohieta de los 250 mm, los cuales corresponden a sectores de mayor precipitación. El análisis de la serie histórica evaluada por Barros con la incorporación de información más reciente de éste estudio, permitiría realizar el mapa de isohietas actualizado para la región.

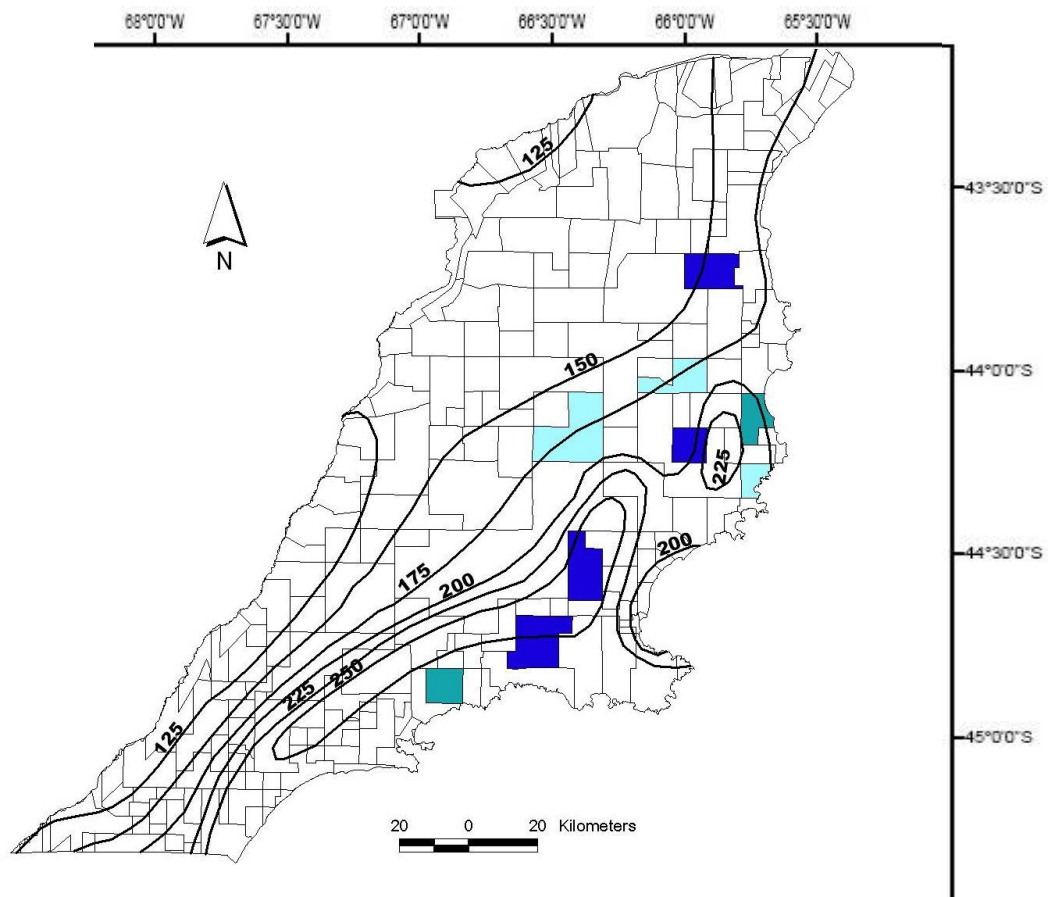


Figura 3.1. Mapa de isohietas, período 1931-1960 (Barros *et al.*, 1979) y ubicación de los establecimientos con precipitaciones (período 1995-2008) superiores (■), similares (■) e inferiores a la media (■).

La precipitación es un fenómeno que, en general, presenta gran variabilidad temporal, particularmente importante en las regiones semiáridas (Noy Meir, 1973). Toda la región bajo estudio muestra un comportamiento similar de variación interanual (Figura 3.2). Los años que registraron mayor cantidad de precipitación anual fueron 1997 y 2005, pero en el segundo caso se registraron variaciones marcadas entre los establecimientos (Figura 3.3).

La Figura 3.2 muestra la secuencia de las precipitaciones anuales de los establecimientos para el período en estudio, observándose que no existen tendencias permanentes que alejen los valores observados del promedio, y que existe una gran variación interanual de las precipitaciones. Los mayores registros de precipitación anual ocurrieron en Berna y La Teutonia en el año 2005, con 421 mm y 511 mm, respectivamente; en tanto que para el resto de los establecimientos los valores más altos se registraron en el año 1997. Las precipitaciones anuales más bajas se presentaron en forma más variable: mientras en La Filomena (65 mm) y Santa Elena (79 mm) esto ocurrió en el año 2006, en La Isabel (103 mm) el año más seco fue 2004, en San Jorge (179 mm) el año 2001, y para el resto de los establecimientos el año 1996. Esto se explica por la naturaleza local del fenómeno, con tormentas individuales que pueden tener un diámetro menor a 10 km en estas regiones (Sharon, 1972).

Es posible que un análisis más detallado ponga de manifiesto la existencia de períodos alternos de relativa escasez y abundancia de lluvia; sin embargo, tal como ocurre en otros lugares del mundo, estas fases se consideran normales dentro de la tendencia secular de las precipitaciones, sin que constituyan alteraciones sustanciales del clima (Pereyra y Abadie, 1965). Estudios preliminares realizados con los Modelos de Circulación General (GCMs) proyectan que el aumento en el dióxido de carbono atmosférico puede resultar en disminuciones de las precipitaciones, como también en variaciones en el tiempo y frecuencia de las lluvias. Otros estudios más recientes de GCMs predicen incrementos en la intensidad de la lluvia y largos periodos de sequía en muchas de las regiones áridas del mundo (Reynolds *et al.*, 1999) coincidiendo con numerosos autores que reportan similares condiciones para diferentes áreas del sur de Sudamérica (Barros y Mattio, 1977, Hoffman *et al.*, 1987, Barros *et al.*, 1996). Los resultados entre los dis-

tintos modelos difieren como consecuencia de la importancia y representatividad que cada uno de ellos otorga a las diversas componentes del sistema climático y la simulación de sus diversas interacciones. Según Núñez *et al.* (2009) quienes estudiaron cambios climáticos con dos modelos regionales para los próximos 70-80 años, reportaron para la zona sudeste de Sudamérica una disminución de las precipitaciones durante los meses invernales, debido principalmente al desplazamiento hacia los polos del anticiclón subtropical sobre el Océano Atlántico y el desplazamiento hacia los polos de la línea de tormenta sobre el Océano Pacífico, con lo cual se reduciría la actividad ciclónica sobre la región. Para la región Patagónica las tendencias positivas son sólo significativas para pequeñas áreas (Castañeda y Barros, 1994). Un análisis de 20 sitios en la región no muestra tendencias temporales en la precipitación anual durante el periodo 1961-1996. En Maquinchao, Trelew y Río Gallegos fue detectada una tendencia positiva significativa estadísticamente (Paruelo *et al.*, 1998).

Un hecho destacable es la variabilidad de la precipitación anual respecto del valor medio. Se observa con cierta frecuencia que la precipitación de un año supera en más de 50 % el valor medio. Beeskow *et al.*, (1987) en una caracterización de las precipitaciones de la provincia de Chubut concluyen que la variabilidad interanual de las precipitaciones en general aumenta a medida que disminuye el promedio anual de las mismas y, con respecto a su distribución a lo largo del año, a medida que aumenta el promedio anual de las precipitaciones se incrementa su concentración en el semestre frío.

Si analizamos en conjunto las Figuras 3.2 y 3.3, se observa que el total de precipitación anual no presenta una tendencia lineal significativa de cambio, y que aún en los años más lluviosos la variabilidad espacial es muy marcada.

Se puede observar, además, que 1996 fue el año con menores registros de precipitación, seguido por el año con los registros más elevados. Es importante remarcar que en el año 1996 se produjo el valor de lluvia más bajo del siglo, y en el año 1998 el máximo absoluto para la ciudad de Trelew (Arbuniés, 2001), ocurriendo ambos registros

extremos en la misma década. Otro período de similares características fue el año 2001, con precipitaciones muy por debajo de la media, seguido por un año con precipitaciones que superan el promedio del período. Dicha situación se repite nuevamente en los años 2004 y 2005, donde en éste último año hubo una gran variación de las precipitaciones entre los establecimientos, registrándose un coeficiente de variación mayor. Rivero (1981) que estudió registros de lluvia de cien años de extensión en la zona árida de la provincia de Chubut, afirma que es de esperar una racha negativa con respecto al nivel modal, de dos o más años de duración, aproximadamente una vez cada 10 años. Se define racha como “secuencia de observaciones de la misma clase precedida y seguida por observaciones de distinta clase”.

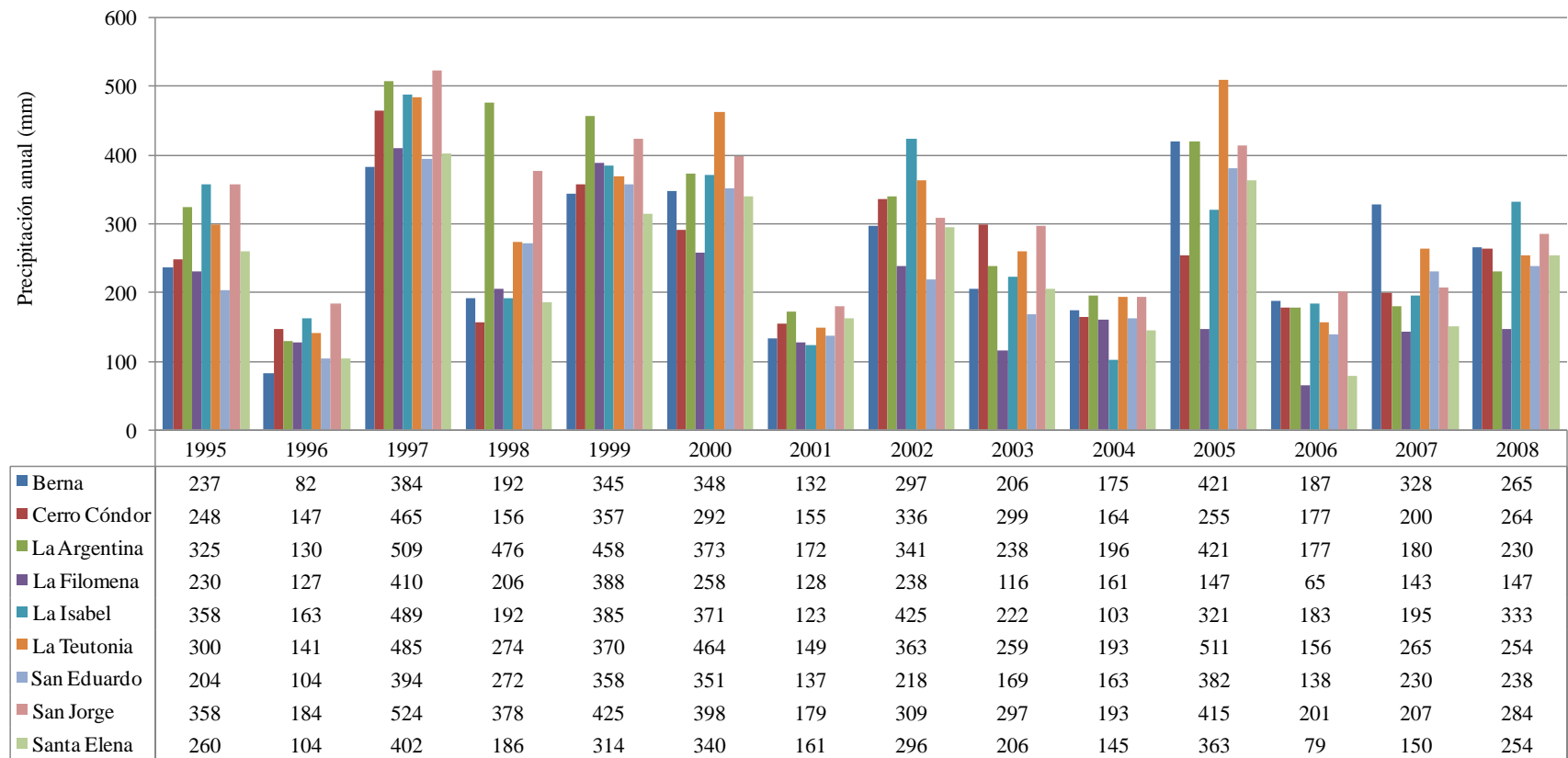


Figura 3.2. Variación de la precipitación anual (mm) de los establecimientos del área de estudio para el período 1995-2008.

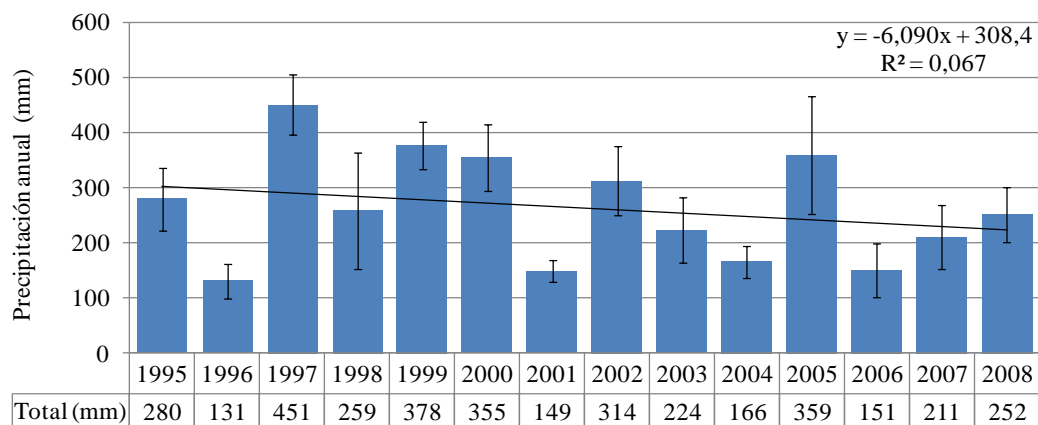


Figura 3.3. Tendencia y desvío estándar de la distribución anual de precipitaciones (mm), promedio de todos los establecimientos para el período 1995-2008.

Los años con menores (1996, 2001, 2004 y 2006) y mayores registros de precipitación (1997, 1999, 2000 y 2005) se compararon de manera gráfica para analizar la existencia de alguna relación de estacionalidad entre ellos, tomando como criterio de agrupamiento de años secos y húmedos a aquellos que presentan un total anual por debajo de 80 % y por encima de 120 % del valor medio anual, respectivamente. Como muestra la Figura 3.4a no se encontró ninguna diferencia entre los años secos y los húmedos en la distribución de la lluvia, registrándose valores máximos en cualquier época del año. Entre los años considerados húmedos se puede observar que 1999 tuvo un valor máximo de precipitación en el mes de marzo, con similares registros para el resto de los meses. Para el resto de los años húmedos se observa que los valores mensuales más elevados ocurren en distintos meses del año (el mayor se registró en el mes de julio, y el resto en febrero-marzo, y septiembre (Figura 3.4 b.).

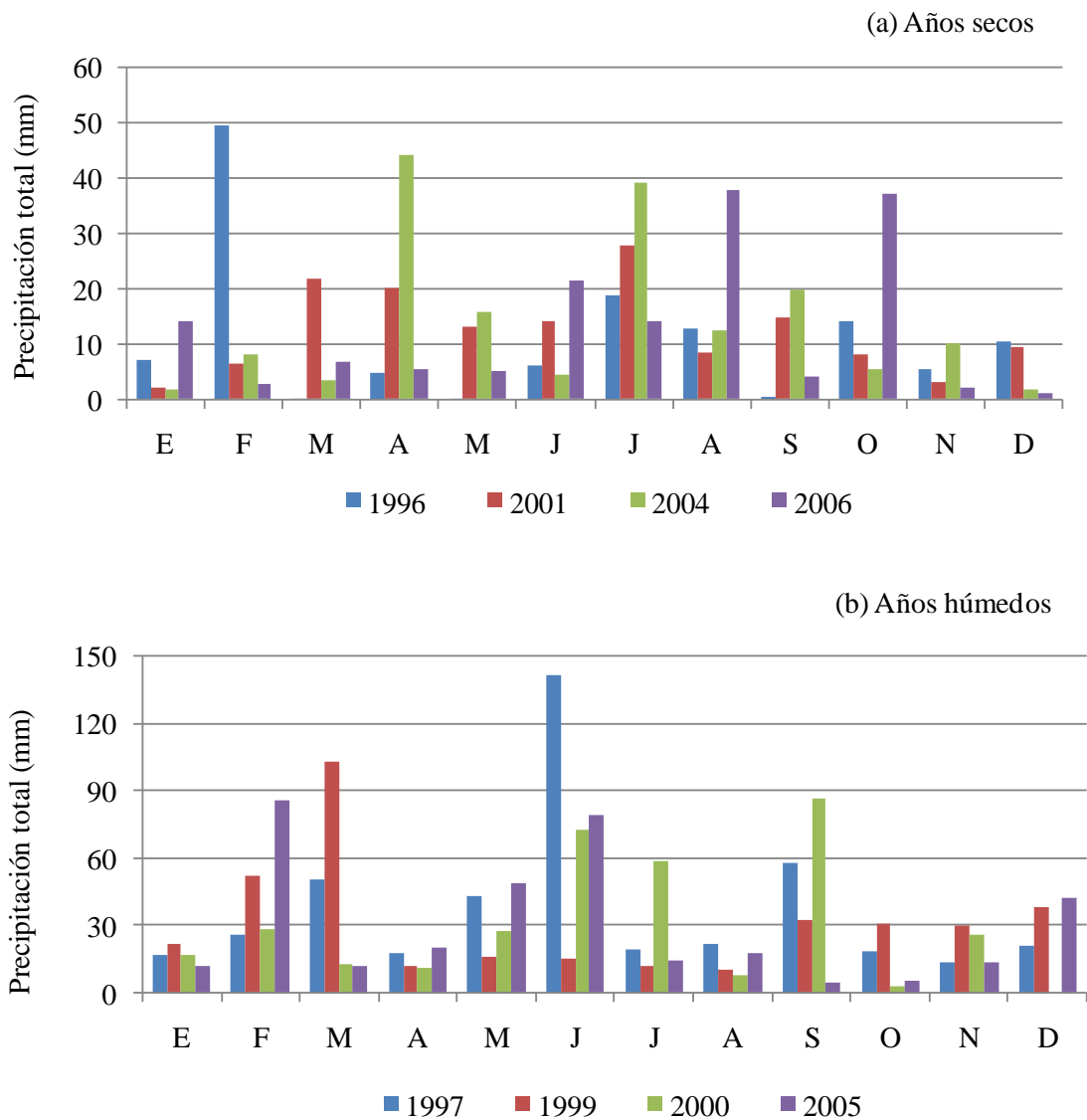


Figura 3.4. Distribución de las precipitaciones mensuales (mm) para los años secos (a). y para los años húmedos (b).

La tendencia de las series de precipitación anual de cada establecimiento se analizó utilizando modelos de regresión lineal, tal como lo sugirieron Dracup *et al.* (1980). Ellos usaron el estadístico t y el valor de p para determinar la estacionariedad de la tendencia de las series de tiempo. Un valor- p igual o menor que 0,01 indica el rechazo de la hipótesis de estacionariedad, o sea la serie de tiempo es altamente no estacionaria, mientras que un valor- p mayor a 0,20 es indicativo de la no existencia de tendencia (Dracup *et al.*, 1980, citado de Rotondo, 2004).

Los análisis de la tendencia mostraron distintas situaciones. En la Tabla 3.2 se presentan los estadísticos que caracterizan el comportamiento de la lluvia, y en las Figuras 3.5 a 3.13 puede observarse, además, la variabilidad interanual de las precipitaciones en los distintos establecimientos.

Tabla 3.2. Estadísticos y parámetros de la regresión lineal de las series de precipitación anual (mm) para cada establecimiento, periodo 1995-2008.

Establecimiento	t	p	Pendiente	Figura
Berna	0,58	0,5755	3,93	3.5
Cerro Cóndor	-0,65	0,5270	-4,12	3.6
La Argentina	-1,51	0,1579	-12,29	3.7
La Filomena	-2,21	0,0476	-12,89	3.8
La Isabel	-0,92	0,3766	-7,44	3.9
La Teutonia	-0,47	0,6453	-4,01	3.10
San Eduardo	-0,38	0,7124	-2,53	3.11
San Jorge	-1,49	0,1632	-10,26	3.12
Santa Elena	-0,77	0,4581	-5,19	3.13

Los establecimientos que mostraron valores de precipitación no estacionarios para el período analizado fueron La Argentina, La Filomena y San Jorge. Se observa que La Argentina y La Filomena muestran una tendencia negativa con una disminución lineal de más de 12 mm por año sobre el período analizado y San Jorge una disminución de 10,26 mm por año. El resto de los establecimientos, excepto Berna, mostraron disminuciones entre 2,5 y 7,4 mm por año. Rivero (1981) evaluó los períodos las rachas de precipitación escasa en la zona árida de Chubut para un período de cien años, encontrando estacionariedad en la totalidad de las estaciones estudiadas, y en algunas no se descartó la dependencia interanual del proceso.

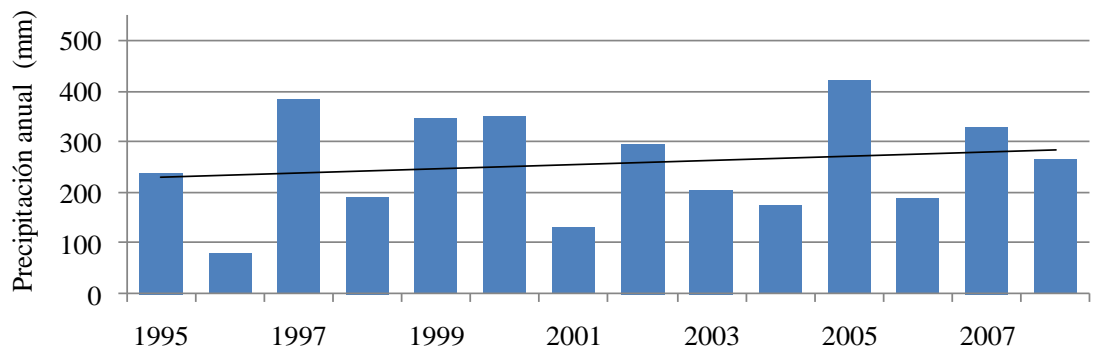


Figura 3.5. Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en Berna (período 1995-2008); $p=0,57$.

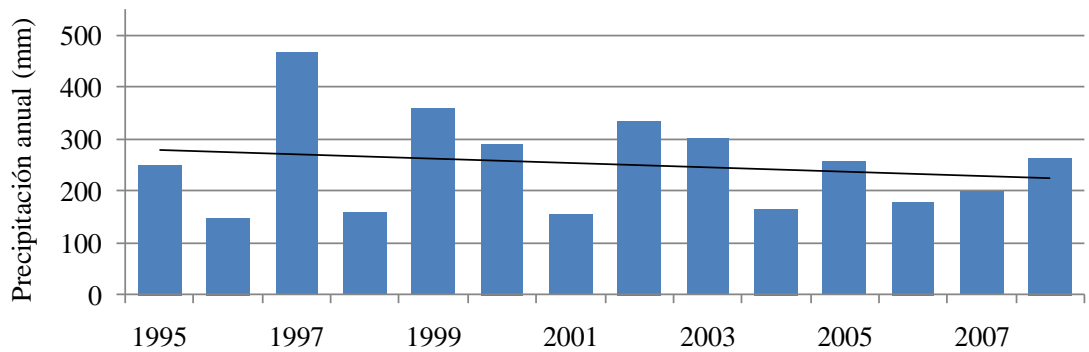


Figura 3.6. Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en Cerro Córdor (período 1995-2008); $p=0,52$.

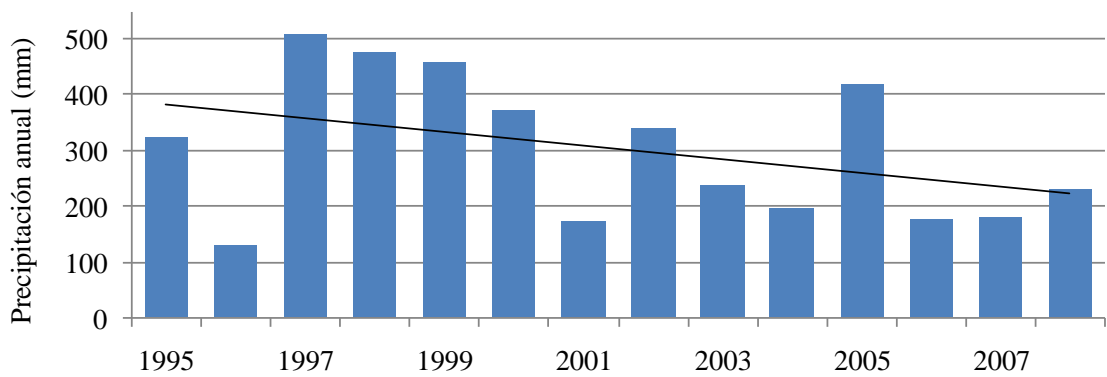


Figura 3.7. Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en La Argentina (período 1995-2008); $p=0,15$.

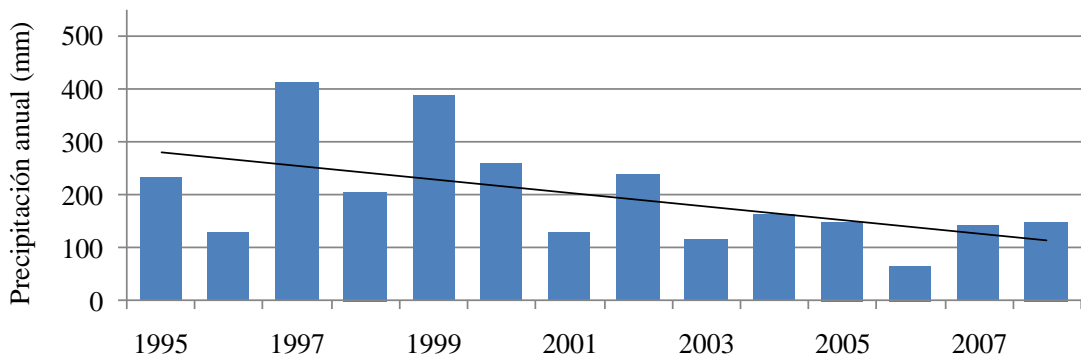


Figura 3.8. Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en La Filomena (período 1995-2008); $p=0,04$.

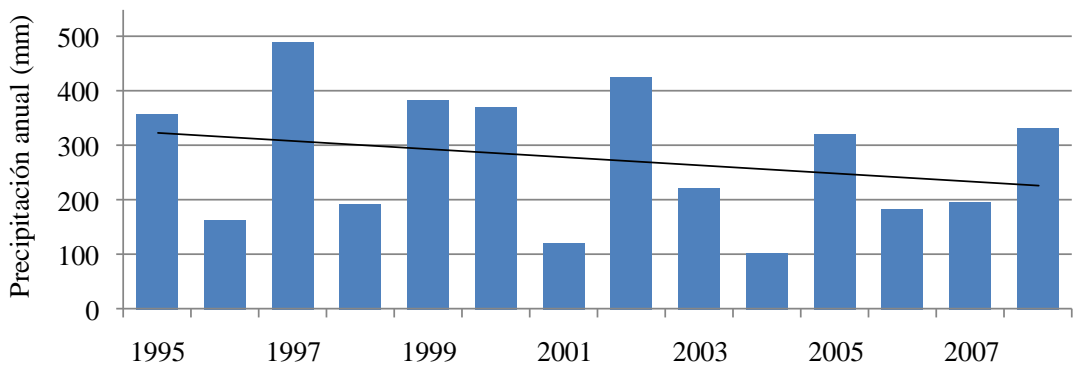


Figura 3.9. Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en La Isabel (período 1995-2008); $p=0,37$.

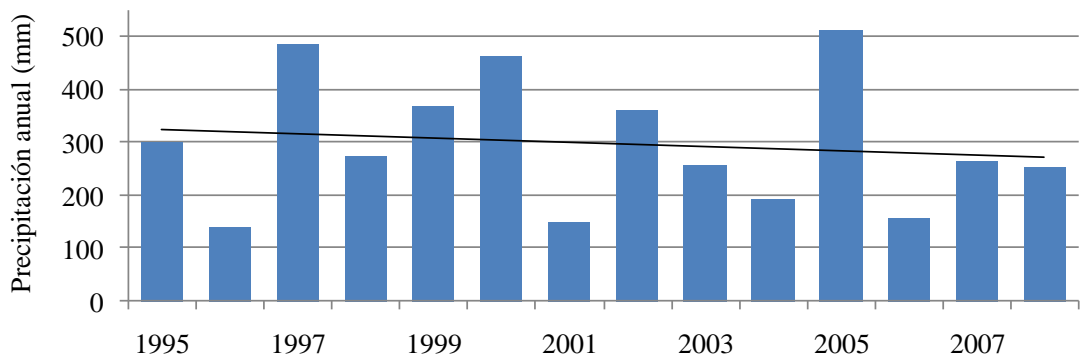


Figura 3.10. Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en La Teutonia (período 1995-2008); $p=0,64$.

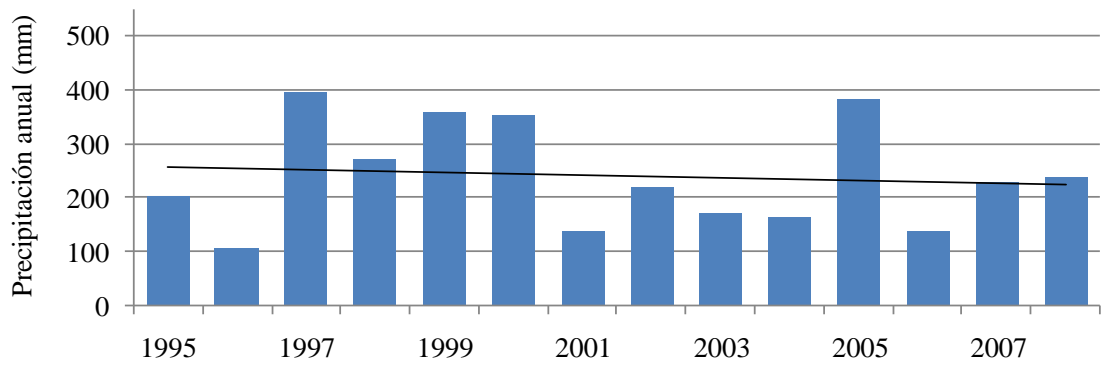


Figura 3.11. Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en San Eduardo (período 1995-2008); $p=0,71$.

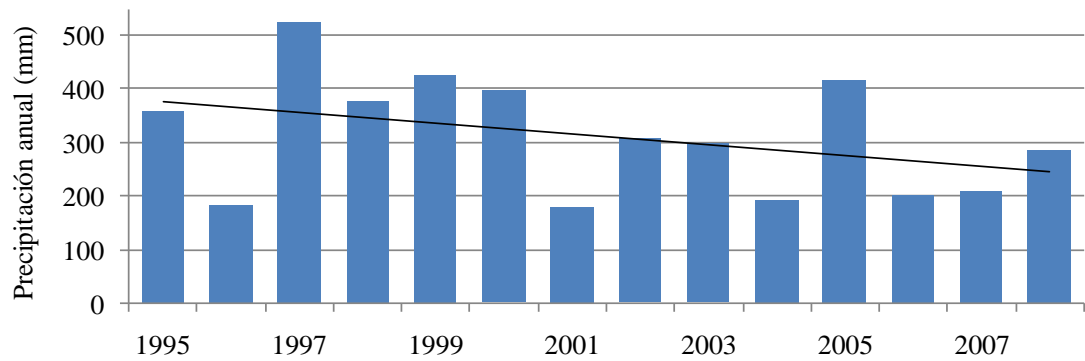


Figura 3.12. Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en San Jorge (período 1995-2008); $p=0,16$.

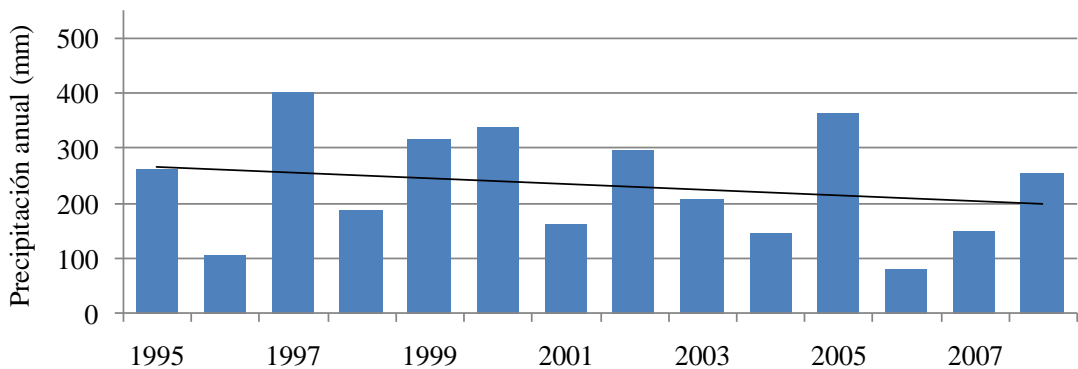


Figura 3.13. Evolución de las precipitaciones anuales (mm) y tendencia del período en Santa Elena (período 1995-2008); $p=0,45$.

Respecto de la distribución mensual de las precipitaciones (Figura 3.14), se puede observar que los valores máximos ocurren principalmente en los meses de mayo (36 mm) y junio (32 mm), seguidos de marzo (28 mm) y febrero (27 mm). En el trabajo presentado por Colombani y Arbuniés (2008) que analizan la serie 1977-2007 para el departamento de Ameghino, también encontraron valores más elevados de precipitación mensual en mayo y junio, seguidos por la lluvia del mes de abril (26,2 mm) y julio (21,5 mm), con un leve incremento para el mes de septiembre con 20 mm.

El mes de abril (23 mm) muestra para todos los establecimientos una disminución de la media, comparada con los meses de mayor precipitación mencionados anteriormente. Los valores de lluvia mensual más bajos se registran en los meses estivales de diciembre (13 mm) y enero (11 mm), coincidiendo con los estudios realizados por Barros (1977), para la zona de Comodoro Rivadavia, y por Beltrán (1997), para la zona de Paso de Indios, meseta central de la provincia. Arbuniés (1997), quien analizó las precipitaciones de la zona de Camarones para el período 1971-1980, reportó mayores registros de precipitación en las estaciones de otoño-invierno, y la mayor cantidad de lluvias en el mes de mayo. Estos datos también fueron reportados por Barros (1977) para el período 1921-1960 en Comodoro Rivadavia. Si bien los mayores desvíos estándar se registraron en los meses otoño-ivernales y en el mes de septiembre, coincidiendo con los meses de mayores precipitaciones, el análisis de la variabilidad a partir del CV revela que el fenómeno resulta más variable cuando las lluvias son más escasas.

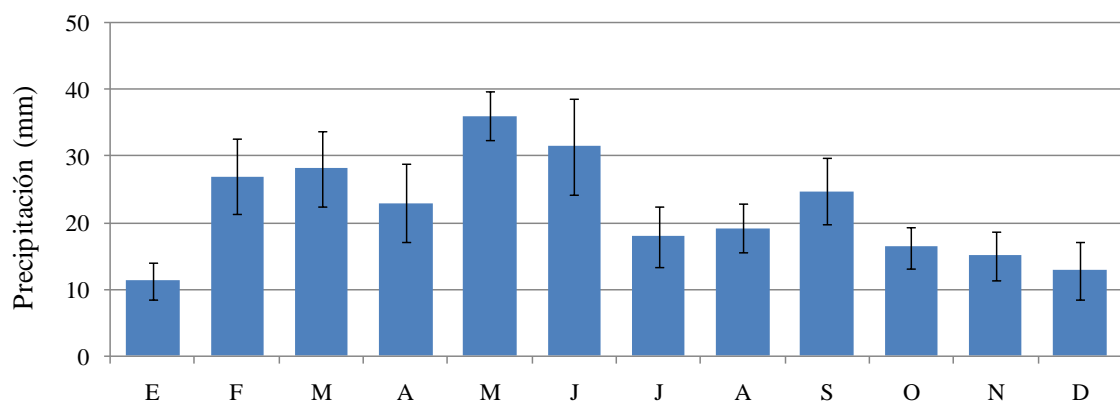


Figura 3.14. Distribución y desvío estándar de la precipitación media mensual (mm) de todos los establecimientos del área de estudio (período 1995-2008).

Se realizó un análisis de frecuencias del promedio mensual de lluvia de todos los establecimientos para el período en estudio. En la Figura 3.15 se puede observar que del total de precipitaciones mensuales, la mayor frecuencia en todos los meses corresponde a precipitaciones menores o iguales a 25 mm. Si se analiza la precipitación mensual, sin importar a que mes del año corresponde, un 69% son casos menores e iguales a 25 mm, 17% corresponde a valores de precipitación mensual entre 25 y 49 mm, y solo 14% a casos superiores a 50 mm (Figura 3.15b). Se puede observar que en los meses de enero y julio en ninguno de los 14 años estudiados se registraron precipitaciones con valores superiores a 49 mm. Similar situación se presenta para los meses de noviembre y diciembre, donde las precipitaciones mensuales registradas no superan 74 mm. Estos resultados coinciden con los reportados por Beltrán (1997), quien encontró para distintas zonas de la provincia de Chubut que las precipitaciones son asimétricas, con las mayores frecuencias de lluvia hacia los valores más bajos.

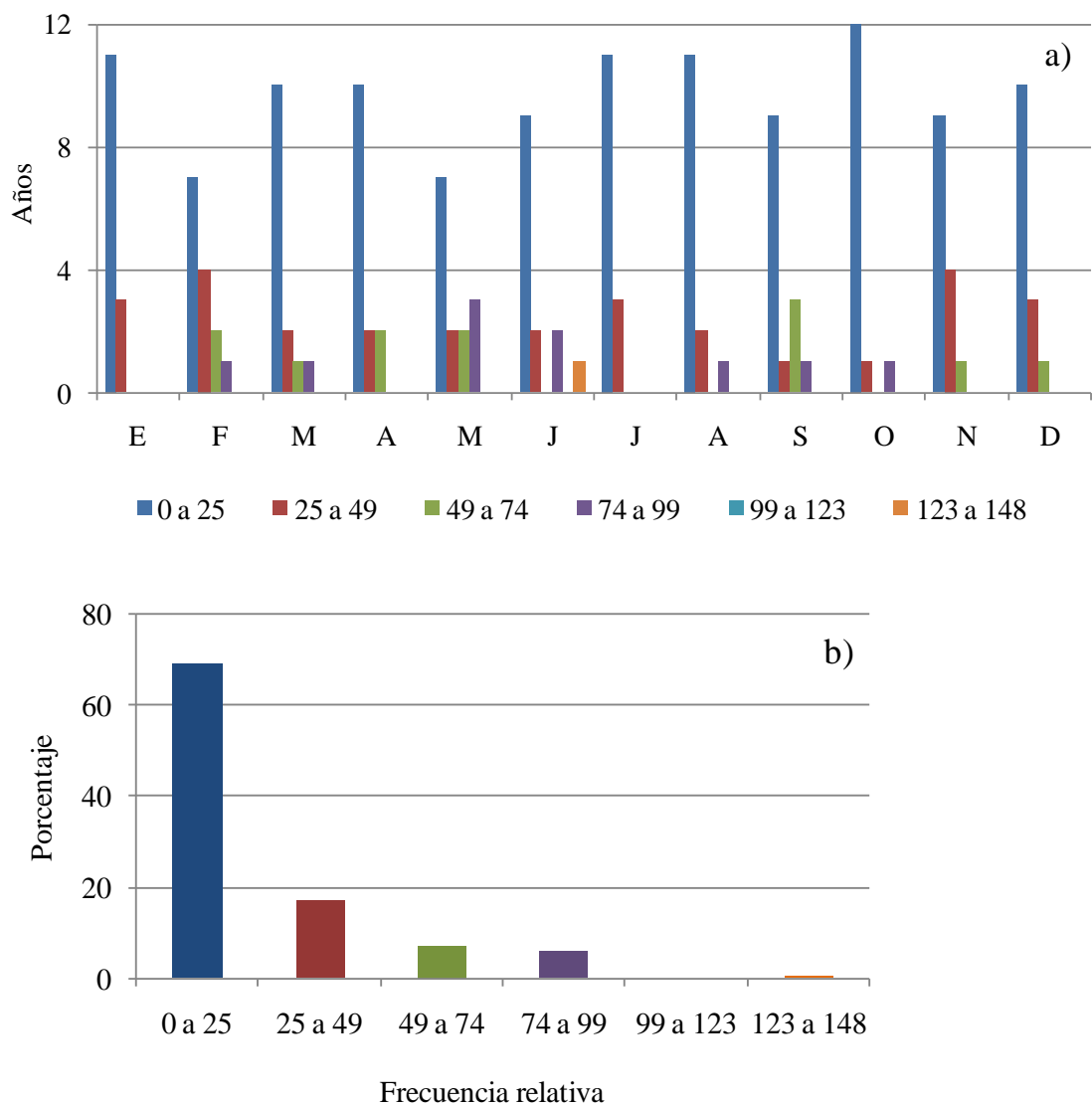


Figura 3.15. Distribución de frecuencias absolutas mensuales de precipitaciones de los establecimientos del área de estudio (a) y frecuencia relativa para todos los meses (b); período 1995-2008.

Considerando a los trimestres de verano (diciembre-enero-febrero), otoño (marzo-abril-mayo), invierno (junio-julio-agosto) y primavera (septiembre-octubre-noviembre), se analizó la distribución estacional de las precipitaciones para cada establecimiento, como muestra la Figura 3.16.

Se observó que Cerro Cóndor, a diferencia del resto, presenta similares precipitaciones en las estaciones otoñal e invernal. Santa Elena tiene un régimen mayor en oto-

ño y similares precipitaciones en el resto de las estaciones. En La Filomena, en cambio, se observaron mayores registros en primavera que en invierno. El resto de los establecimientos presentaron los mayores registros de precipitación en el trimestre otoñal, seguidos por invierno y primavera. En verano se registraron los menores valores de precipitación en casi la totalidad de los establecimientos. En San Eduardo y San Jorge el trimestre estival presentó mayores registros de lluvia que en primavera.

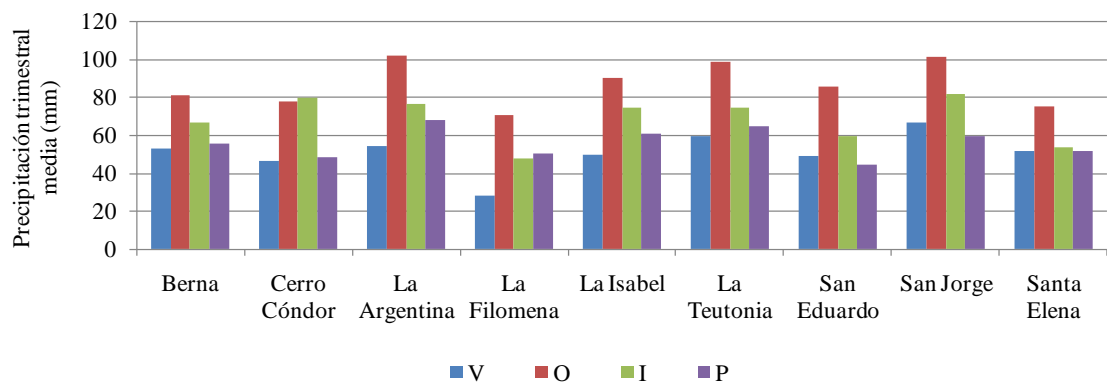


Figura 3.16. Distribución estacional para los establecimientos del área de estudio. V: verano, O: otoño, I: invierno y P: primavera; período 1995-2008.

Al analizar las estaciones individualmente se observa en el trimestre estival rangos de precipitaciones que varían entre 28,1 mm (La Filomena) y 67 mm (San Jorge) (Figura 3.17). El promedio del coeficiente de variación de todos los establecimientos para el trimestre de verano, fue mayor que para el resto de las estaciones (Tabla 3.3). Estos resultados fueron observados por Rivero (1983) donde las precipitaciones durante el verano son escasas y con alto coeficiente de variación, lo cual incide en la variabilidad de la producción. Las escasas y episódicas precipitaciones de los ecosistemas áridos (Noy Meir, 1973) también son responsables de disparar eventos fenológicos debido a que en estos ambientes, la fenología está particularmente acoplada a la disponibilidad de agua (Reynolds *et al.*, 1999).

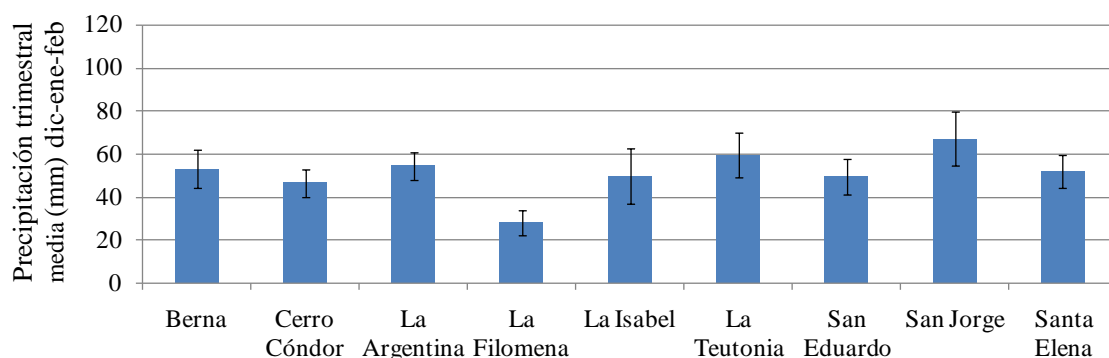


Figura 3.17. Precipitación media y desvío estándar del trimestre de verano para los establecimientos del área de estudio; período 1995-2008.

En el trimestre otoñal, con valores medios más altos para todos los establecimientos, excepto Cerro Cónдор, la precipitación presentó un rango entre 70,6 mm (La Filomena) y 102 mm (La Argentina) (Figura 3.18). Rivero (1983) reportó también mayores registros de lluvia durante el trimestre otoñal.

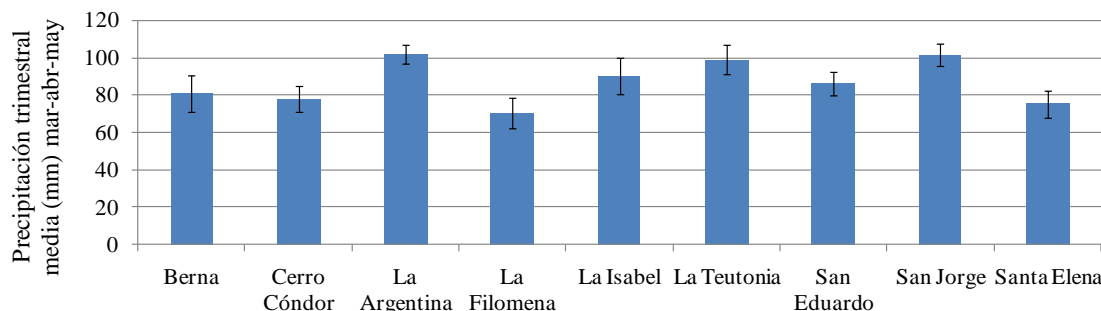


Figura 3.18. Precipitación media y desvío estándar del trimestre de otoño para los establecimientos del área de estudio; período 1995-2008.

Para la estación invernal, el rango de precipitación varió entre 48 mm (La Filomena) y 82,3 (San Jorge) (Figura 3.19). La Argentina presentó el mayor coeficiente de variación para el trimestre y en el mes de junio (41,2 mm) registró los mayores valores de precipitaciones con respecto al resto de los meses y de los establecimientos (Tabla 3.1).

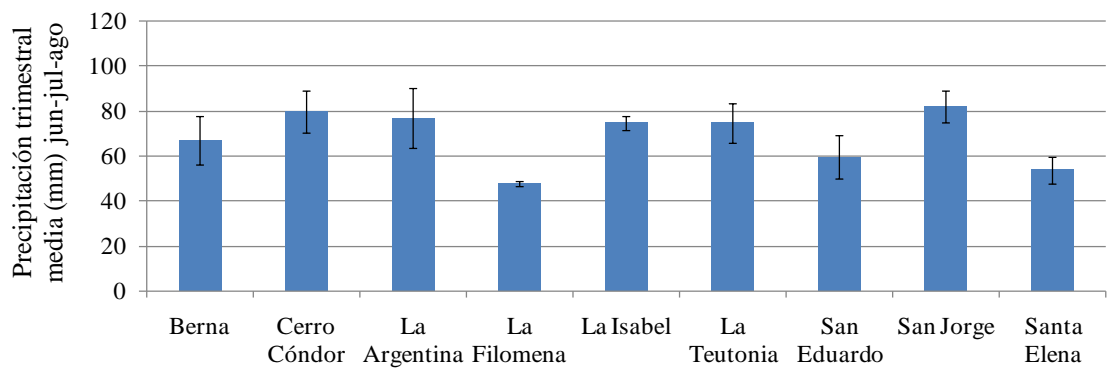


Figura 3.19. Precipitación media y desvío estándar del trimestre de invierno para los establecimientos del área de estudio; período 1995-2008.

El trimestre de primavera presenta un rango entre 44,6 mm (San Eduardo) y 68,4 mm (La Argentina), con una menor variación entre los establecimientos (Figura 3.20). La Isabel presentó el mayor coeficiente de variación del trimestre, con mayores valores de precipitaciones para el mes de septiembre (34,4 mm) y los menores para el mes de noviembre (9 mm), cuyos registros fueron los más altos y los más bajos del trimestre de todos los establecimientos.

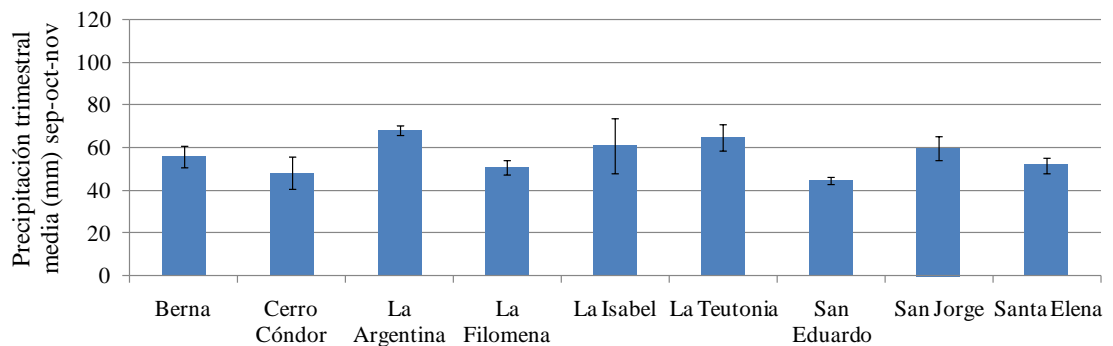


Figura 3.20. Precipitación media y desvío estándar del trimestre de primavera para los establecimientos del área de estudio; período 1995-2008.

Tabla 3.3. Coeficiente de variación (mm) para los trimestres de verano, otoño, invierno y primavera, para los establecimientos del área de estudio, período 1995-2008.

Coeficiente de variación				
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Berna	0,51	0,36	0,47	0,26
Cerro Córdor	0,43	0,27	0,35	0,48
La Argentina	0,36	0,14	0,52	0,10
La Filomena	0,63	0,35	0,06	0,20
La Isabel	0,77	0,32	0,13	0,63
La Teutonia	0,52	0,23	0,35	0,28
San Eduardo	0,50	0,21	0,49	0,13
San Jorge	0,56	0,18	0,25	0,28
Santa Elena	0,44	0,29	0,34	0,21
Promedio	0,53	0,26	0,33	0,29

En la Tabla 3.4 se observa que las precipitaciones se hallan concentradas en la época otoño-invernal independientemente de los totales anuales, en coincidencia con lo determinado por distintos autores (Sala *et al.*, 1989; Paruelo y Sala 1995). Las lluvias durante otoño-invierno representan el 59,2 % de las precipitaciones totales para los establecimientos del área de estudio, similar a lo citado por Canziani *et al.* (1992) y Jobaggy *et al.* (1996) para la región. En general, las precipitaciones son escasas durante los meses de verano, aunque en algunos años y para algunos establecimientos pueden representar un alto porcentaje del total anual (Beltrán, 1997). Estudios realizados en la costa norte de la provincia de Chubut mostraron que la cobertura de plántulas de gramíneas y de especies anuales tuvieron un fuerte patrón estacional, con una mayor actividad durante el invierno, en coincidencia con las máximas precipitaciones; donde la cobertura vegetal y la productividad primaria neta mostraron un patrón estacional marcado y reflejaron efectos de la disponibilidad hídrica (Massara Paletto, 2010).

Tabla 3.4. Promedio de precipitaciones y porcentaje de las estaciones del año, para los establecimientos del área de estudio, período 1995-2008.

Estación	Promedio precipitaciones (mm)	Porcentaje
Otoño	87,1	33,1
Invierno	68,6	26,1
Primavera	56,2	21,4
Verano	51,0	19,4

Sintetizando lo expuesto, puede decirse que las lluvias de la zona de estudio son propias de un régimen árido, con características similares a otros sectores de la región Patagónica. Están más concentradas en la época otoño-invernal, pero son sumamente variables de un año para otro, corroborando los resultados obtenidos por Barros (1977). Estas precipitaciones durante el periodo más frío del año recargan el perfil humedeciendo las capas profundas del suelo, mientras que las precipitaciones de primavera-verano son poco frecuentes y humedecen solo las capas superficiales (Sala *et al.*, 1989; Paruelo y Sala, 1995). Estos resultados concuerdan, además, con la información presentada por Pereyra y Abadie (1965), quienes analizaron la distribución y variabilidad de las precipitaciones en el oeste del Chubut, y por Paruelo *et al.* (1987), quienes demostraron que las precipitaciones en la estepa árida de la Patagonia ocurren principalmente en el período de marzo a agosto.

En la región de estudio las precipitaciones presentan gran variabilidad y fluctuaciones, las cuales son inherentes a las regiones semiáridas según lo que sostienen varios autores (Le Houérou, 1959; Katsnelson, 1964; Le Houérou y Norwine, 1985; citado de Le Houérou, 1996).

2. INCIDENCIA TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES SOBRE INDICADORES DE LA PRODUCTIVIDAD OVINA

Para evaluar el efecto de la cantidad y la incidencia temporal de la precipitación sobre indicadores de la productividad ovina (carga, porcentaje de señalada, producción de lana, finura y rinde al peine) se realizaron análisis de regresión lineal entre los índices productivos y las precipitaciones anuales de los años 1995 a 2008 para los estable-

cimientos del estudio en su conjunto. Los índices que presentaron una relación altamente significativa fueron porcentaje de señalada, con un $R^2=0,28$ ($p<0,001$ y $n=105$), y finura de la fibra, con un $R^2=0,13$; ($p<0,001$ y $n=122$). Esto indica que el 28% de la variabilidad de la señalada, y el 13% de la finura, fue explicada solo por las precipitaciones anuales, y que incrementos en las precipitaciones anuales fueron acompañados de aumentos en los índices de porcentaje de señalada y en el diámetro medio de la fibra de lana (Figura 3.21 a y b). Los porcentajes de señalada para el conjunto de años y establecimientos variaron entre 15 y 85%, los más bajos corresponden a señaladas de 15% para el establecimiento Santa Elena y 18,5% para La Argentina, ambos en el año 1996, que corresponden a diferentes regiones agroecológicas. Analizados independientemente, se observó que en el año 1996 tuvieron registros de precipitaciones muy por debajo de la media y en el año 1995 sólo algunos establecimientos superaron el promedio (Figura 3.2). Los porcentajes más altos se obtuvieron en los establecimientos San Eduardo, con 85% para el año 1998, y Santa Elena con el mismo porcentaje en el año 1999. Para estos casos se pudo observar que el año 1998 presentó valores de precipitaciones similares a la media, pero el año anterior fue el año con mayor precipitación anual del periodo. Por su parte, el año 1999 también registró precipitaciones muy por encima de la media del registro.

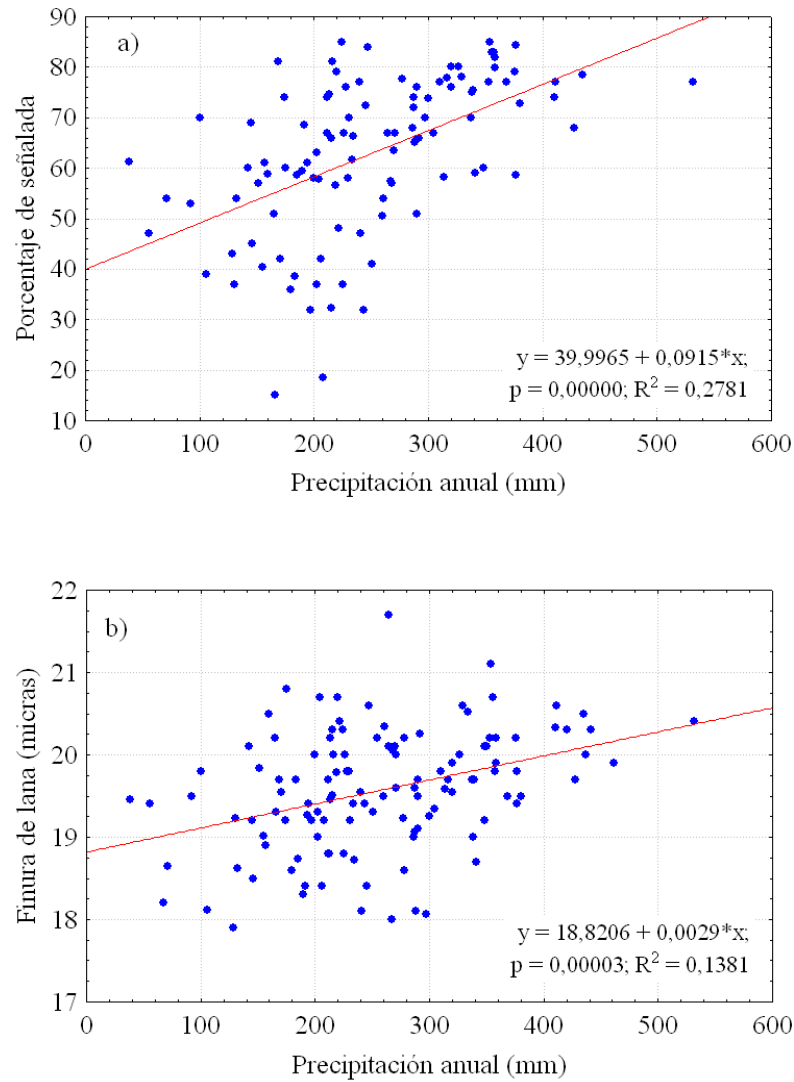


Figura 3.21. Regresión lineal entre precipitaciones anuales (mm) con: a) porcentaje de señalada y b) finura de lana, para los establecimientos del área de estudio (período 1995-2008).

Le Houérou *et al.* (1988) estudiaron la relación entre variabilidad de la lluvia y el crecimiento de la producción primaria neta aérea, para varios tipos de vegetación alrededor del mundo, y concluyeron que los ecosistemas áridos varían altamente su producción en función de los ingresos de agua. Reportaron además, que la variabilidad en la producción anual de biomasa fue 50% que la correspondiente variabilidad en la precipitación anual en sitios que reciben menos de 600 mm. Según Reynolds *et al.* (1999) la gran diversidad de condiciones evaluadas (estepas arbustivas y estepas herbáceas, etc.) hacen difícil entender que causa la alta variabilidad de la producción vegetal en relación con la precipitación. Diferentes factores pueden influenciar la relación entre

precipitación y producción primaria incluyendo: 1) interacción entre varios aspectos del ingreso de agua, tiempo, frecuencia e intensidad de los eventos de precipitación y los particulares requerimientos de los tipos funcionales de plantas (herbáceas, sub arbustivas y arbustivas); 2) características topográficas y edáficas que influyen la distribución y retención del agua del suelo y 3) otros factores como la disponibilidad de agua, la herbivoría o limitaciones de nutrientes. La concurrencia de todos éstos factores explicarían la aparente baja correlación encontrada por Le Houérou (1996), entre la productividad primaria y las precipitaciones del año cuando estas fueron computadas en su registro total afectando de ésta manera los valores encontrados para los índices productivos del año. Según Massara Paletto, (2010) a pesar de que la productividad puede verse afectada por las precipitaciones, los animales modifican su comportamiento aumentando la utilización del recurso, de modo que ésta sobre utilización de los pastizales genera deterioros sin evidenciar de forma inmediata las consecuencias de años desfavorables sobre la producción secundaria.

Para considerar la influencia de la oportunidad de la lluvia durante el año, se analizó la correlación entre los datos de precipitación mensual y los índices productivos, (Tabla 3.5). La producción de lana por animal tuvo una correlación altamente significativa con la lluvia del mes de febrero ($p < 0,001$), al igual que producción de lana por unidad de superficie, que también fue significativa ($p < 0,05$). El porcentaje de señalada presentó una correlación significativa con la lluvia en varios meses del año con distinto nivel de significancia, aunque el mayor coeficiente corresponde a la lluvia del mes de abril con un $R = 0,30$ ($p < 0,01$). Para finura de lana sucedió algo similar aunque con un mayor nivel de significancia para el mes de noviembre del año previo, al igual que marzo ($p < 0,001$). Para el resto de las variables productivas no se obtuvieron correlaciones significativas. De acuerdo a lo observado, las precipitaciones registradas en el año previo no tienen mucha influencia sobre los índices productivos, excepto para finura de lana.

Las precipitaciones otoñales parecen ejercer un importante efecto sobre la producción de lana y la finura. En el trabajo realizado por Laporte (1975), a partir de sólo dos años de estudio, se observó un aumento del peso de los animales y de la producción

de lana con un incremento en las precipitaciones para los meses de fines de verano y comienzo de otoño en ovinos de raza Merino de la zona costera de Chubut. Por otro lado, se observó el aumento del crecimiento de lana y del peso de los animales cuando aparece forraje verde después de un periodo de sequía. Como consecuencia de las bajas temperaturas en invierno no hay disponibilidad de forraje verde, y la respuesta en el crecimiento se observa a partir de fines de agosto y septiembre, cuando comienza a aumentar la temperatura. Moscovicci Vidal y Barros (1981) mostraron en la región costera de la provincia de Chubut una alta y significativa correlación entre la cantidad de lana producida anualmente por animal y la lluvia caída durante el periodo comprendido entre los meses de octubre o noviembre del año previo a la esquila, y hasta los meses de marzo o abril del año en que se produce la misma. Observaron, además, que para algunos establecimientos el periodo de precipitación que da lugar al mayor coeficiente de correlación, es aquel comprendido entre los meses de enero y abril (Moscovicci Vidal y Barros, 1981).

Tabla 3.5. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y las precipitaciones mensuales (período 1995-2008). En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.

Precipitaciones	Carga	Producción de lana		Señalada	Rinde al peine	Finura
(mm)	(anim/ha)	(kg/anim)	(kg/ha)	(%)	(%)	(micras)
Septiembre (previo)	0,10	0,05	0,12	0,19	0,12	0,25*
Octubre (previo)	-0,07	-0,09	-0,07	-0,33	-0,01	-0,08
Noviembre (previo)	0,11	0,15	0,06	0,24*	0,19	0,31***
Diciembre (previo)	0,06	-0,03	0,04	-0,01	0,14	0,16
Enero	0,08	0,13	0,04	0,12	0,02	0,05
Febrero	0,03	0,37***	0,22*	0,29**	0,05	0,28**
Marzo	-0,11	0,26*	0,01	0,17	0,14	0,32***
Abril	-0,03	0,01	0,03	0,30**	0,09	0,26**
Mayo	-0,02	-0,19	-0,03	0,26*	-0,07	-0,24
Junio	-0,05	0,20	0,04	0,29**	-0,01	0,20
Julio	0,0012	-0,08	-0,05	0,08	0,13	-0,15
Agosto	-0,03	-0,28	-0,09	-0,11	-0,33	-0,35

También se realizó un análisis de la información de lluvia total por bimestres, para determinar el bimestre con mayor influencia sobre los índices productivos (Tabla 3.6). Coincidiendo con el análisis mensual, se encontró una correlación altamente significativa para producción de lana por animal y la lluvia de los bimestres enero-febrero, con un R=0,40 (p<0.001), y significativa para marzo-abril, con un R=0,21 (p<0.05).

Para porcentaje de señalada también se observaron correlaciones altamente significativas ($p < 0.001$) para los bimestres de marzo-abril y mayo-junio, con $R=0,38$ y $R=0,39$, respectivamente. A diferencia del análisis mensual, se obtuvo una respuesta significativa ($p < 0.05$) para rinde al peine y la lluvia del bimestre noviembre-diciembre del año previo, con un $R=0,23$. Para finura de lana también coincidieron los resultados analizados a nivel mensual, arrojando correlaciones significativas para los bimestres noviembre-diciembre, enero-febrero y marzo-abril, con un $R=0,45$ para éste último.

Tabla 3.6. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y las precipitaciones bimestrales (mm); período 1995-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Precipitaciones	Carga	Producción de lana		Señalada	Rinde al peine	Finura
(mm)	(anim/ha)	(kg/anim)	(kg/ha)	(%)	(%)	(micras)
Sep-Oct (previo)	0,07	-0,02	0,04	-0,04	0,11	0,16
Nov-Dic (previo)	0,13	0,07	0,05	0,15	0,23*	0,31***
Ene-Feb	0,08	0,40***	0,22*	0,30**	0,06	0,28**
Mar-Abr	-0,07	0,21*	0,05	0,38***	0,18	0,45***
May-Jun	-0,01	0,08	0,03	0,39***	-0,03	0,05
Jul-Ago	0,01	-0,26	-0,10	-0,04	-0,19	-0,37

Estos resultados estarían indicando que tanto para producción de lana como para porcentaje de señalada, el sistema productivo no tendría memoria de las precipitaciones ocurridas en el año previo.

Identificados los bimestres que más correlacionaron con los índices productivos, se realizaron los modelos estadísticos correspondientes. Para todos los modelos analizados se incluyó como tercer variable la carga animal, ya que los ajustes mejoran considerablemente al incorporar ésta variable de manejo.

Para estimar el indicador producción de lana por animal (kg/animal), se adoptó como variable climática la lluvia del bimestre enero-febrero que fue la que mostró una correlación más elevada. El modelo obtenido, con un coeficiente de determinación $R^2=0,40$ ($n=101$), fue el siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{Producción de lana (kg/animal)} \\ & = (3,93848) + (0,008403) * \text{precipitaciones e, f} + (0,997649) * \text{carga animal}^2 \\ & R^2=0,40; n=101 \end{aligned}$$

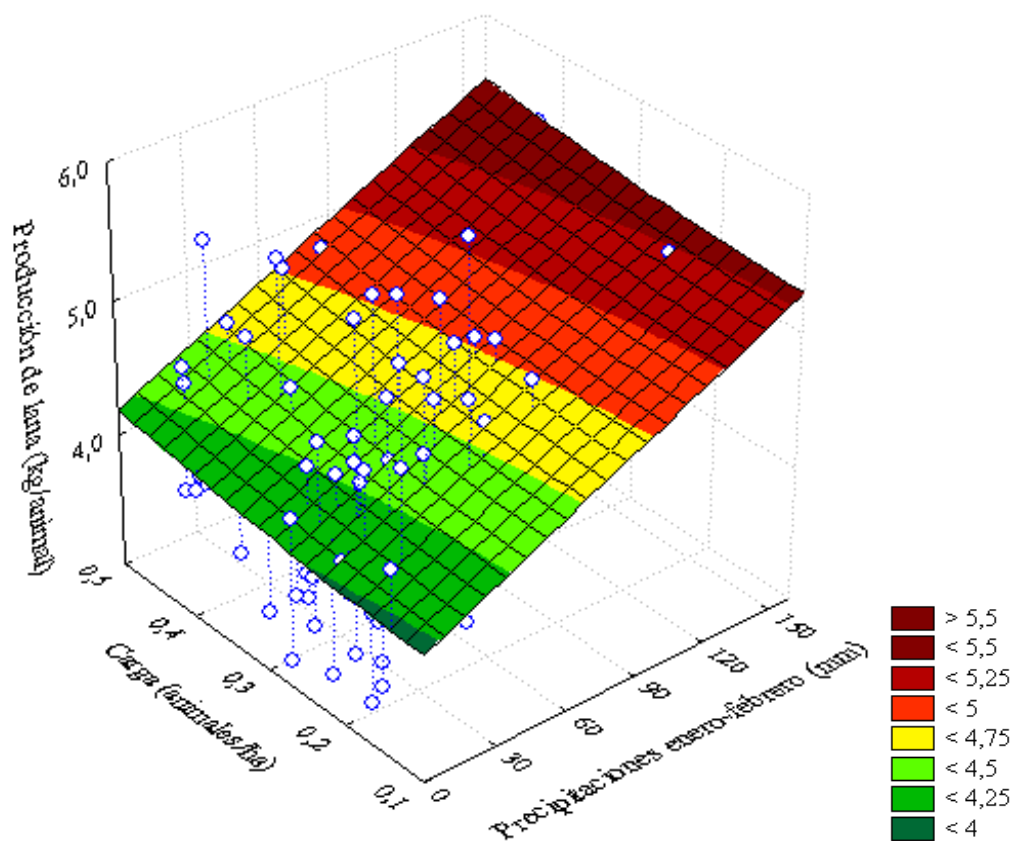


Figura 3.22. Superficie de respuesta de la producción de lana por animal con respecto a la carga animal y la precipitación del bimestre enero-febrero.

Como puede observarse en la Figura 3.22, tanto con cargas bajas y altas, la producción de lana aumenta al incrementarse las precipitaciones del bimestre enero-febrero. Los puntos abarcan un rango entre los 3,0 y 6,9 kg de lana/animal, con una media de 4,3 kg/animal. Las precipitaciones del bimestre variaron entre 0 y 166 mm, con una media de 37,2 mm. El valor más bajo de producción se observó en el establecimiento La Argentina el año 2006, y el valor más alto en el establecimiento Berna el año 1998. Rendimientos de lana mayores a 5,5 kg/animal fueron registrados en los años 1998, 1999 y 2005 en Berna, y en los años 1998 y 1999 en San Eduardo, en ambos establecimientos con cargas entre 0,24 y 0,27 animales por hectárea. Las cargas altas no reflejaron un aumento en la cantidad de lana producida, en tanto que los valores de producción de lana por animal más altos se obtuvieron con cargas medias.

Para el índice producción de lana por unidad de superficie, el bimestre de mayor correlación significativa con la lluvia fue enero-febrero. La producción de lana varió entre 0,5 y 2,4 kg/ha, con una media de 1,2 kg/ha. Con cargas altas aumenta la producción de lana por ha para un mismo rango de precipitaciones (Figura 3.23). Los valores más bajos de producción se registraron para el establecimiento La Filomena, coincidiendo con las cargas más bajas que varían entre 0,14 y 0,17 animales/ha. El valor más alto se registró en el establecimiento Santa Elena, en el año 1998, con una carga de 0,45 animales/ha. El modelo obtenido con un coeficiente de determinación $R^2=0,90$ ($n=101$) para ésta variable fue el siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{Producción de lana (kg/ha)} \\ & = (0,512168) + (0,002487) * \text{precipitaciones e, f} + (7,20449) * \text{carga animal}^2 \\ & \quad R^2=0,90; n=101 \end{aligned}$$

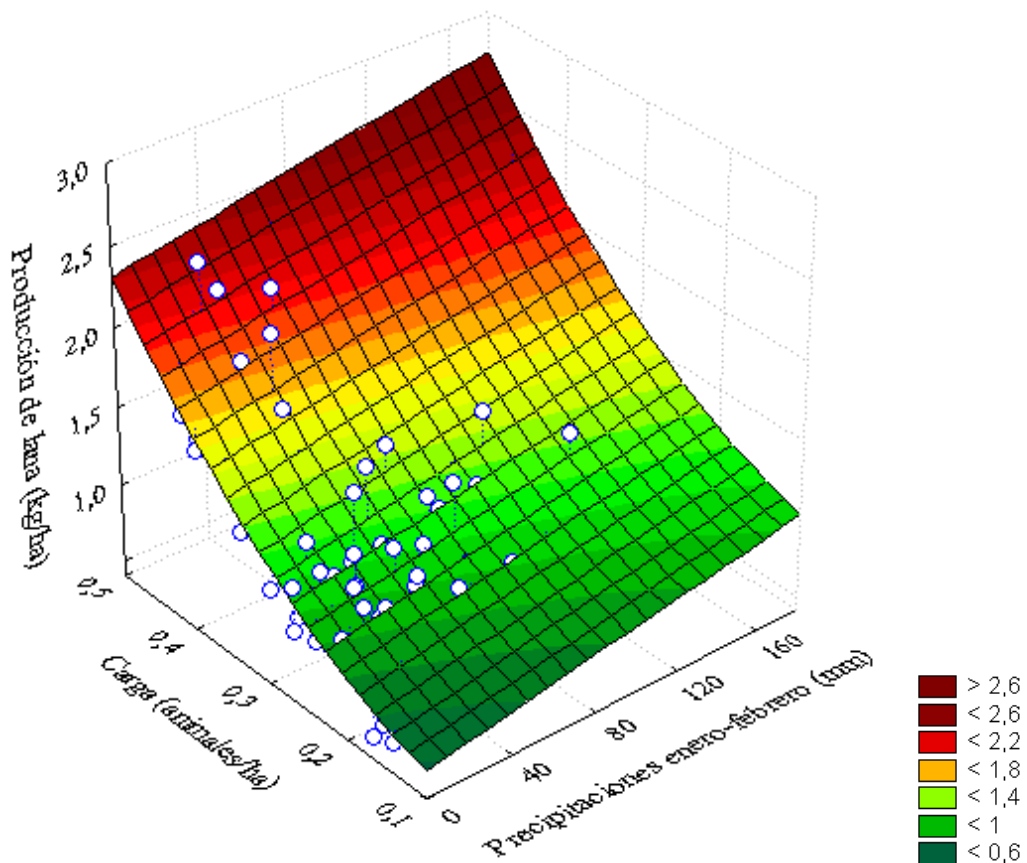


Figura 3.23. Superficie de respuesta de la producción de lana por unidad de superficie con respecto a la variable carga animal y la precipitación (mm) del bimestre enero-febrero.

Si se analiza el modelo de producción individual, comenzando por una baja carga animal, se comprende que un aumento en el número de animales permitirá una producción constante por cabeza hasta un momento en que comenzará a declinar. Al aumentar la carga, la producción por cabeza comienza a declinar (competencia por el forraje disponible, reducción de la calidad de la dieta y/o por reducción del tamaño de bocado), pero la producción por hectárea continua aumentando debido a que el incremento en el número de animales compensa la disminución de la producción individual. Este aumento de producción por hectárea continuará hasta el momento en que la producción individual sea tan baja que la haga descender. Esta situación conduce al sobrepastoreo, con la consiguiente degradación del recurso forrajero. Según Scolaro (1973), el óptimo técnico de producción no se logra con el óptimo de la producción individual ya que, en la composición del primerero juegan otros factores, tales como el manejo de los animales, distancia a las aguadas, alambrados, etc., los cuales considerados en conjunto reducirían el área de la zona racional de explotación hasta determinar el punto óptimo técnico de manejo de la empresa. Como tal condición variará indefectiblemente año a año y su determinación solo puede efectuarse al final del ciclo, por tanto resulta más interesante realizar la evaluación por la zona. Según Borrelli (2001), la variabilidad interanual de las condiciones climáticas genera una variación en la oferta forrajera (variabilidad temporal). Considerando que cada año tiene una carga animal óptima diferente, de establecer una carga fija se producen años de excedente y años de escasez de forraje, lo cual en ambos casos implica una producción por debajo del óptimo.

Para el porcentaje de señalada el bimestre de lluvia que mejor ajustó fue marzo-abril, con precipitaciones que variaron entre 0 y 299,2 mm y porcentajes de señalada entre 15% y 85%, con un valor medio de 62,7%. A partir de cargas medias y con incrementos en la precipitación, se observa un aumento en el porcentaje de señalada (Figura 3.24). Los valores más bajos de señalada fueron registrados en los establecimientos Santa Elena y La Argentina con 15% y 18,5%, respectivamente, ambos en el año 1996, que constituye el registro de precipitaciones más bajo de todos los años del periodo de estudio. El valor más alto de señalada se registró en los establecimientos San Eduardo y Santa Elena, en los años 1998 y 1999, respectivamente, con un registro anual de precipi-

taciones de 272 mm y 314 mm, y una carga animal de 0,24 animales/ha para el primer establecimiento y 0,46 animales/ha para el segundo.

La lluvia del bimestre marzo-abril y la carga animal explicaron el 51% de la variabilidad interanual del porcentaje de señalada con el siguiente modelo:

$$\begin{aligned} &\text{Porcentaje de Señalada} \\ &= (75,6439) + (0,142609) * \text{precipitaciones m, a} + (-4,9318)/\text{carga animal}^2 \\ &R^2=0,51; n=103 \end{aligned}$$

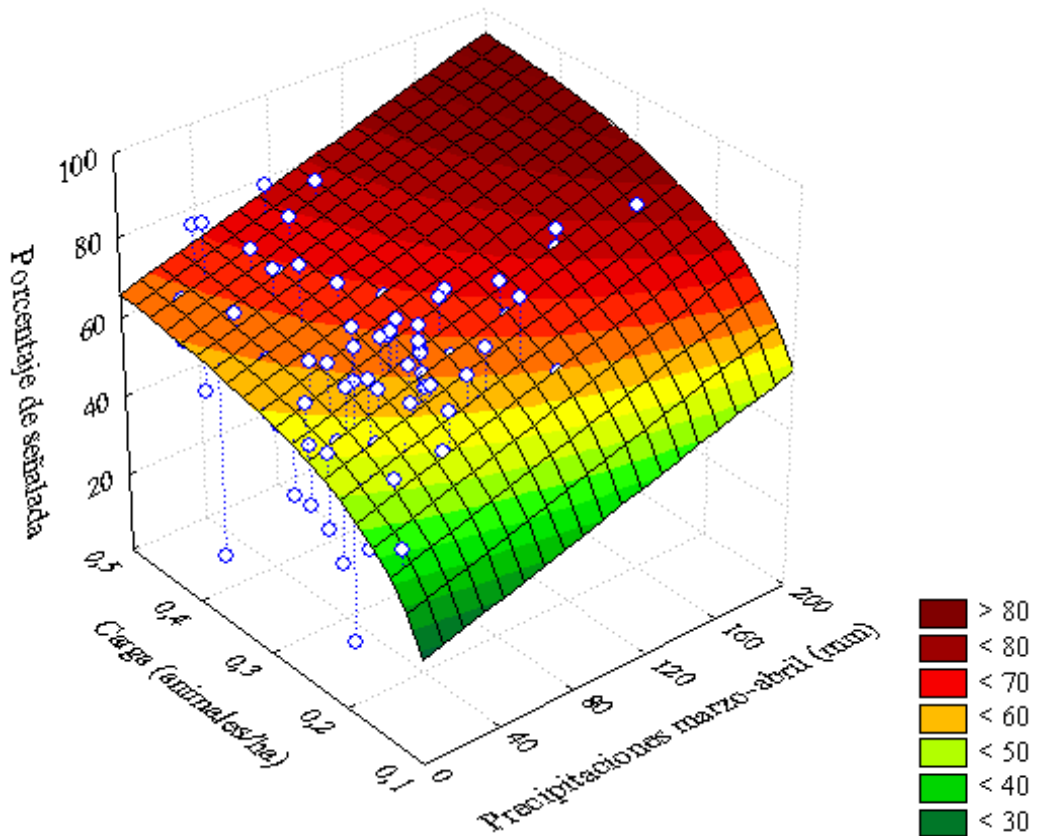


Figura 3.24. Superficie de respuesta del porcentaje de señalada con respecto a la variable carga animal y las precipitaciones del bimestre marzo-abril.

Según Texteira y Paruelo (2010), la sobrevivencia de las ovejas fue el parámetro demográfico más importante para la tasa de crecimiento de las majadas. El modelo estocástico utilizado, que incluye la influencia de la variabilidad ambiental, mostró que el crecimiento de las majadas fue altamente sensible al incremento en la frecuencia de

años benignos (tasas de crecimiento positivas), y a la transición de años normales a años malos (tasas de crecimiento negativas). Estos autores resaltan que la productividad primaria neta aérea y la estructura de la vegetación controlarían la dinámica poblacional de las majadas a través de su efecto sobre dos parámetros demográficos clave, la supervivencia de ovejas y el índice de señalada.

Es evidente que la mayor disponibilidad de alimento no tendría un efecto lineal y directo sobre la eficiencia reproductiva. Al menos un factor, la carga animal, estaría mediando esta relación. La carga animal afectaría no solo la disponibilidad de forraje por individuo (Rattray y Jagusch, 1978; Penning *et al.*, 1986), sino también la posibilidad de seleccionar la biomasa consumida, afectando así la calidad de la dieta. Este último efecto potenciaría la caída de la productividad animal individual determinada por la menor cantidad de forraje disponible, particularmente en zonas semiáridas, donde la calidad media de las especies es baja (Hall, 2000). Estos resultados también fueron reportados por Iglesias y Larrosa (2004), quienes observaron un marcado mejoramiento de los valores reproductivos y una alta correlación entre disponibilidad del pastizal y el número de corderos logrados a la señalada, en establecimientos localizados en la provincia de Santa Cruz, Argentina.

Las precipitaciones del bimestre marzo-abril explicaron el 44% de la variabilidad de la finura de lana ($R^2=0,44$, $n=105$), donde se observa que, para distintos niveles de carga, a mayores montos de precipitación aumenta el diámetro medio de las fibras (Figura 3.25). Los valores de finura variaron entre 17,9 y 21,7 micrómetros de diámetro, con una media de 19,5 micrómetros. El valor más bajo de finura se registró en el año 2004 para el establecimiento La Filomena, con una carga de 0,2 animales/ha y un registro anual de 161 mm de lluvia. Los diámetros mayores a 20 micrómetros se registraron en el año 1998 en los establecimientos La Isabel y San Eduardo, con cargas de 0,25 y 0,24, respectivamente, y registros de precipitación de 192 mm y 272 mm, respectivamente.

$$\begin{aligned} & \text{Finura de lana (micras)} \\ & = (19,0313) + (0,007655) * \text{precipitaciones m, a} + (1,84974) * \text{carga animal}^2 \\ & R^2=0,44; n=105 \end{aligned}$$

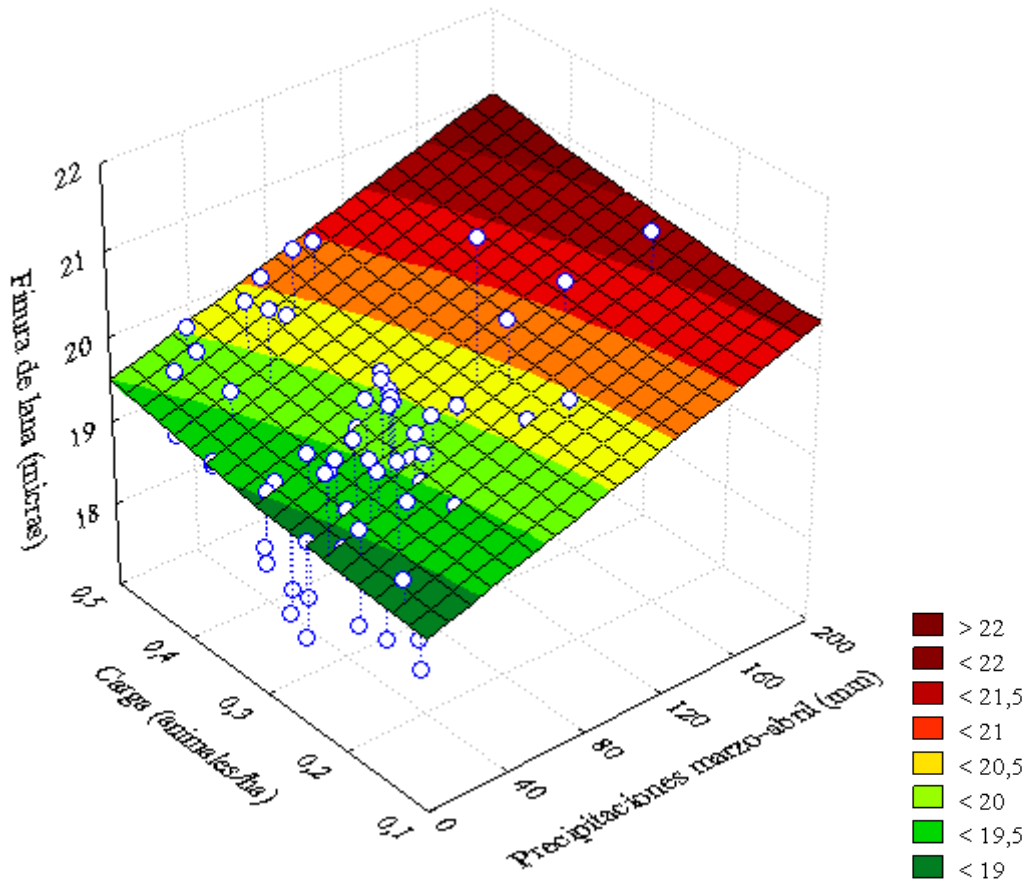


Figura 3.25. Superficie de respuesta de finura de lana con respecto a la carga animal y las precipitaciones (mm) del bimestre marzo-abril.

Para evaluar la relación entre la precipitación y el índice de evapotranspiración relativa (IE), se realizó un análisis de regresión lineal entre los valores anuales de precipitación y de IE para el período en estudio. Como resultado de este análisis se obtuvo un coeficiente de regresión altamente significativo con un $R^2 = 0,48$ ($p < 0,001$), como muestra la Figura 3.26. Los valores más bajos de IE correspondieron al establecimiento La Filomena, cuyas precipitaciones son también las más bajas del área de estudio mientras que los valores más altos de IE fueron para el establecimiento La Argentina cuyas precipitaciones fueron las segundas más altas del período.

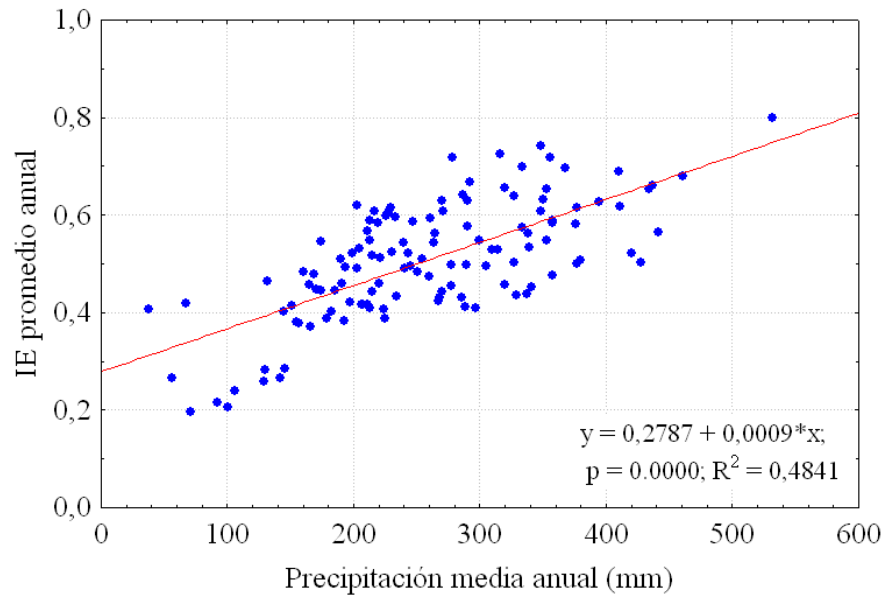


Figura 3.26. Relación entre los valores anuales de precipitación y de IE para los establecimientos del área de estudio durante el período 1995-2008.

El estudio de la dinámica del agua del suelo presenta dificultades metodológicas que, en el caso de ecosistemas áridos, se magnifican por la ocurrencia esporádica y local de la precipitación (Loik *et al.*, 2004). Además, el efecto de cualquier evento de lluvia no sólo depende de sus características inherentes, tales como cantidad, duración e intensidad, sino también de la condición particular del sistema suelo-planta-atmósfera (D'Odorico y Porporato, 2006; Fernández, 2007).

Aunque es frecuente ligar a la disponibilidad del agua con la fenología, esta relación es intrincada (Peñuelas *et al.*, 2004). Tanto la ocurrencia (Olivares y Squeo, 1999), como el momento de inicio (Ghazanfar, 1997; Myers *et al.*, 1998) y duración (Olivares y Squeo, 1999) de fases fenológicas, son afectadas por los cambios en la disponibilidad total del agua y/o por su distribución a lo largo del año. Así, más allá del efecto directo del pastoreo sobre la fenología de la planta (mediado por el retiro de tejidos), el pastoreo podía tener también efectos indirectos sobre la fenología de la planta como consecuencia de cambios en la disponibilidad del agua del suelo.

Se realizó un análisis de regresión para evaluar la relación entre la lluvia y el IE, a escala bimestral, resultando una función sigmoidea la de mejor ajuste. Todos los bimestres presentaron relaciones significativas. Los bimestres con mayor nivel de signifi-

cancia fueron marzo-abril (Figura 3.27.b) y mayo-junio, que son los más lluviosos (Figura 3.22.c), y septiembre-octubre (Figura 3.27.e), con coeficientes de determinación de 0,96, 0,88 y 0,84, respectivamente. Los bimestres noviembre-diciembre, que registra las precipitaciones más bajas del año (Figura 3.27.f), y enero-febrero (Figura 3.27.a), presentaron coeficientes de determinación de 0,70 y 0,77, respectivamente. El bimestre julio-agosto presentó también un coeficiente de determinación similar (Figura 3.27.d).

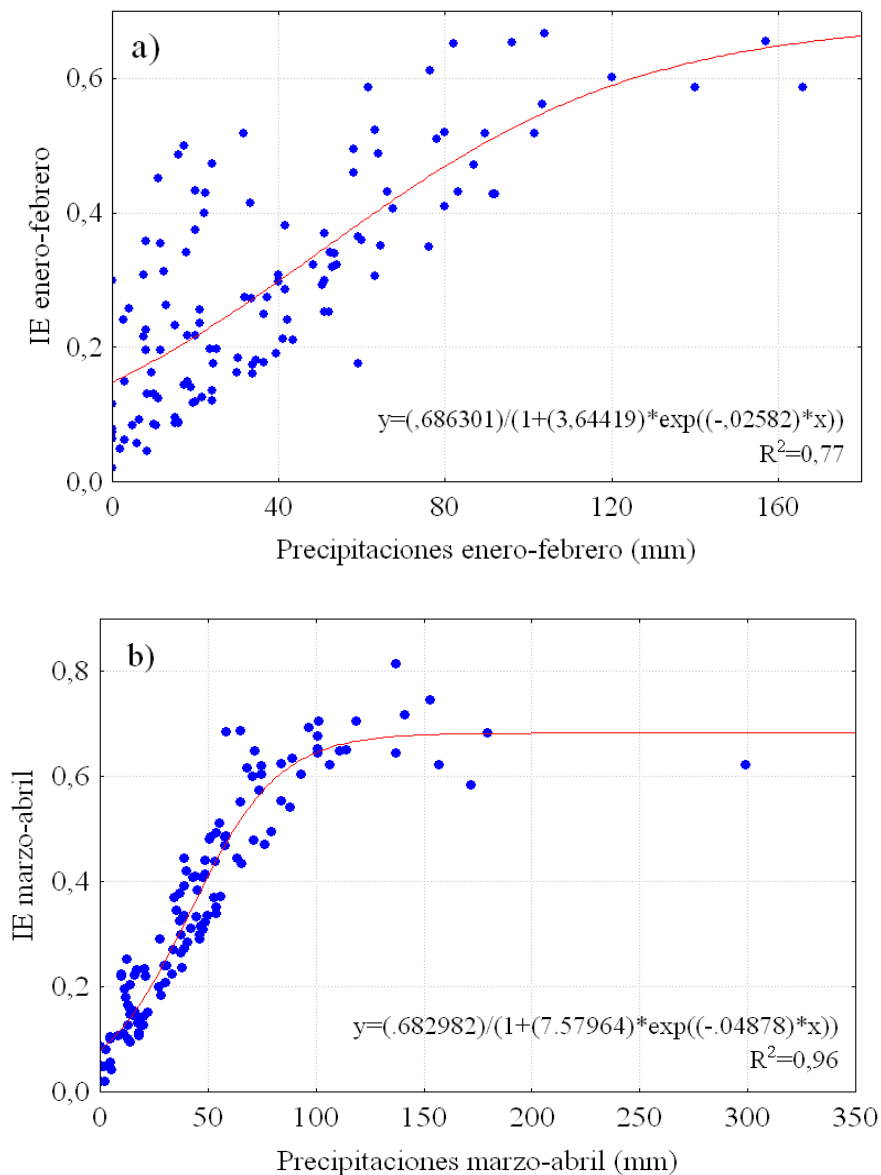


Figura 3.27. Relación entre la precipitación y el IE para los bimestres: a) Enero-febrero. b) Marzo-abril.

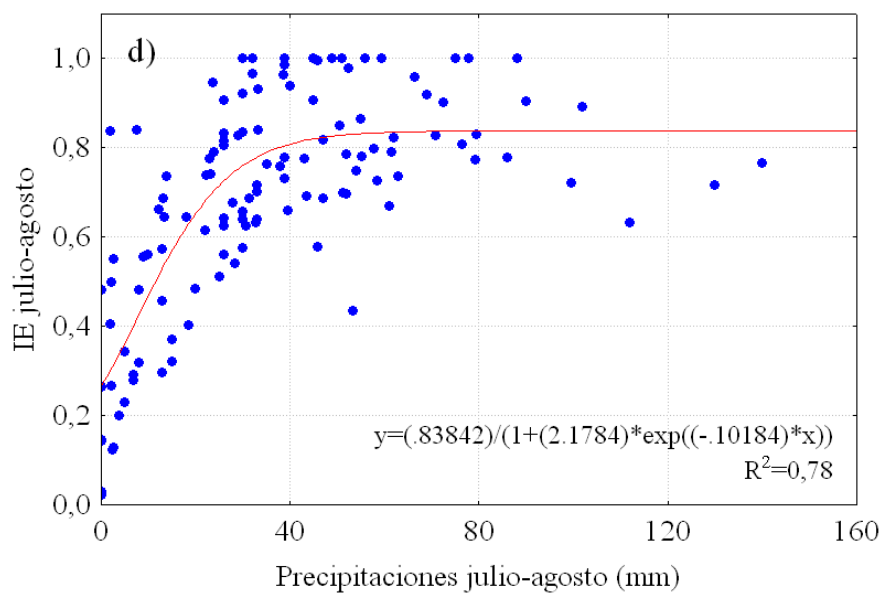
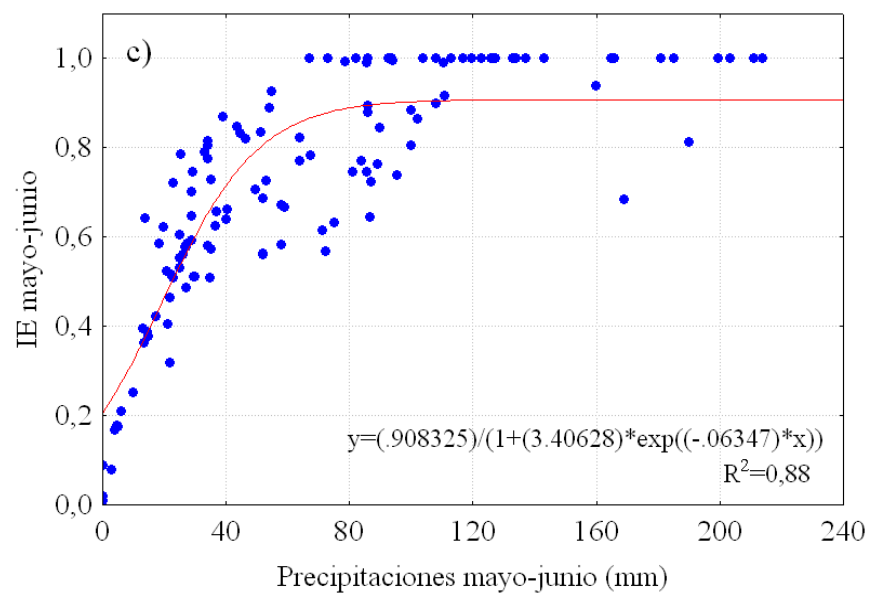


Figura 3.27. Relación entre la precipitación y el IE para los bimestres: c) Mayo-junio. d) Julio-agosto.

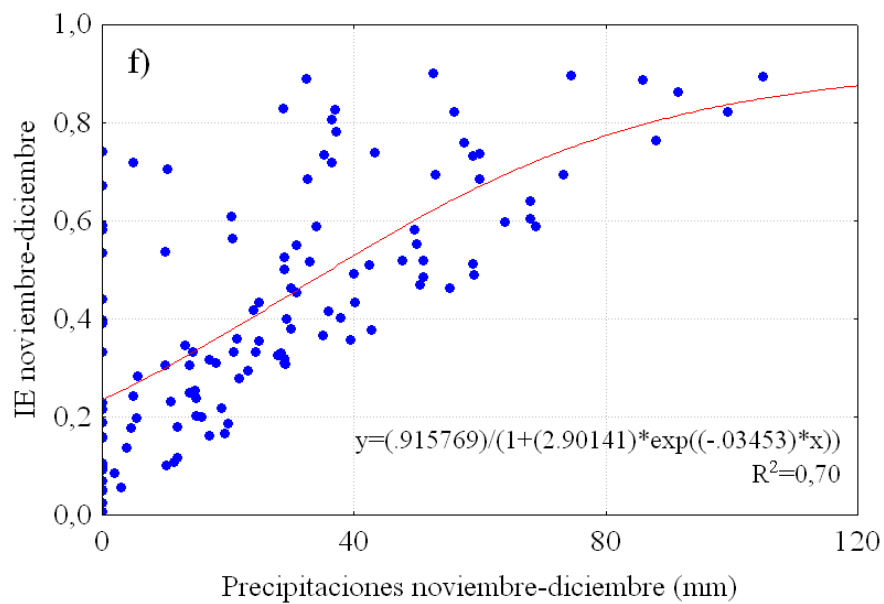
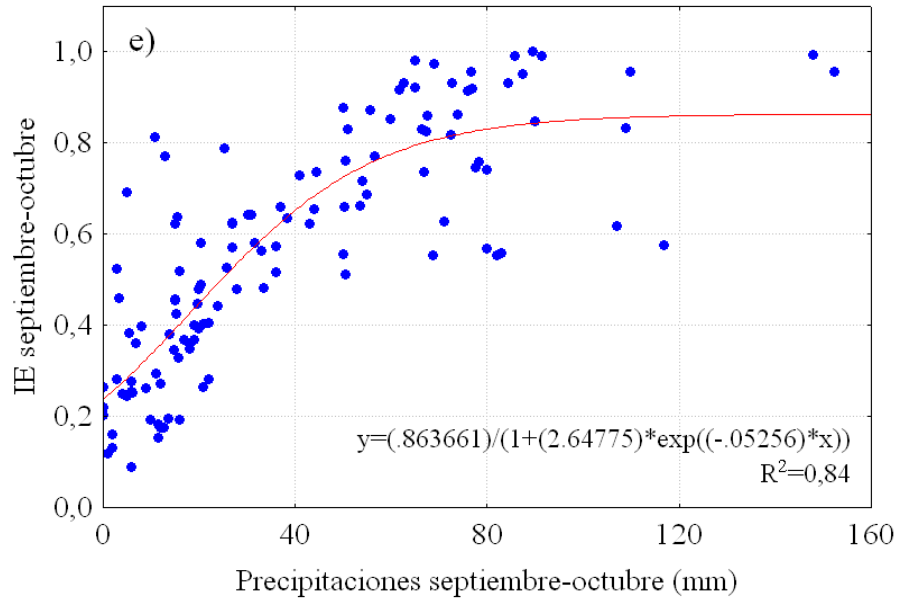


Figura 3.27. Relación entre la precipitación y el IE para los bimestres: e) Septiembre-octubre. f) Noviembre-diciembre.

La distribución de la precipitación en invierno también causa una asincronía en las dinámicas de los flujos de evaporación y transpiración, aunque la demanda atmosférica sea baja, la evaporación es alta en invierno porque la capa superior del suelo está húmeda. La pérdida por transpiración tiene un pico en primavera y tempranamente en verano se dan cuando la disponibilidad de agua y energía es alta (Paruelo *et al.*, 1998). En la estepa Patagónica la cantidad de agua perdida por transpiración sería superior al 34% de la precipitación anual (Paruelo y Sala, 1995). Además, los factores locales como

la textura del suelo, el porcentaje de rocas, el índice de inclinación y el índice de áreas de hojas, también ejercen una importante influencia en la dinámica del agua (Paruelo, 1991; Jobbágy 1993; Coronato y Bertiller 1996).

3. RELACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA CON INDICADORES DE LA PRODUCTIVIDAD OVINA

Al igual que con la precipitación, se analizó también la influencia de IE sobre los índices productivos. Para los índices de producción de lana por animal y por superficie se obtuvieron R de 0,25 y 0,22, respectivamente, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Para porcentaje de señalada, rinde al peine y finura de lana se obtuvieron R de 0,46; 0,32 y 0,44, respectivamente, con un nivel de significancia mayor ($p < 0,001$). Se realizó una regresión lineal entre el IE anual y los índices porcentaje de señalada y finura, que mostraron mayor nivel de significancia. En la Figura 3.28 se puede observar que ambos índices acusaron un comportamiento lineal, donde el incremento del IE provoca un aumento proporcional, tanto en los valores de señalada como en los diámetros medios de la fibra de la lana.

Como ya fue señalado, en ecosistemas áridos y semiáridos la fenología de la planta está fuertemente condicionada por la disponibilidad del agua. Un aumento en la precipitación anual (Ghazanfar 1997; Myers *et al.*, 1998) y la acumulación de agua en algunas áreas específicas del paisaje (Seghieri *et al.*, 1995; Olivares y Squeo, 1999), pueden causar ciclos de crecimiento más largos y, en consecuencia, adelantar el crecimiento vegetativo y retardar la senescencia (citado de Bisigato y López Laphitz, 2009). Todos éstos resultados concuerdan con información presentada por Iglesias y Larrosa (2004), quienes observaron una alta relación entre la disponibilidad forrajera, expresada en producción de materia seca por hectárea, y el número de corderos logrados a la señalada, para la provincia de Santa Cruz. El nivel nutricional, medido indirectamente a través del peso y la condición corporal, ha demostrado ser uno de los factores de mayor incidencia en la eficiencia reproductiva ovina.

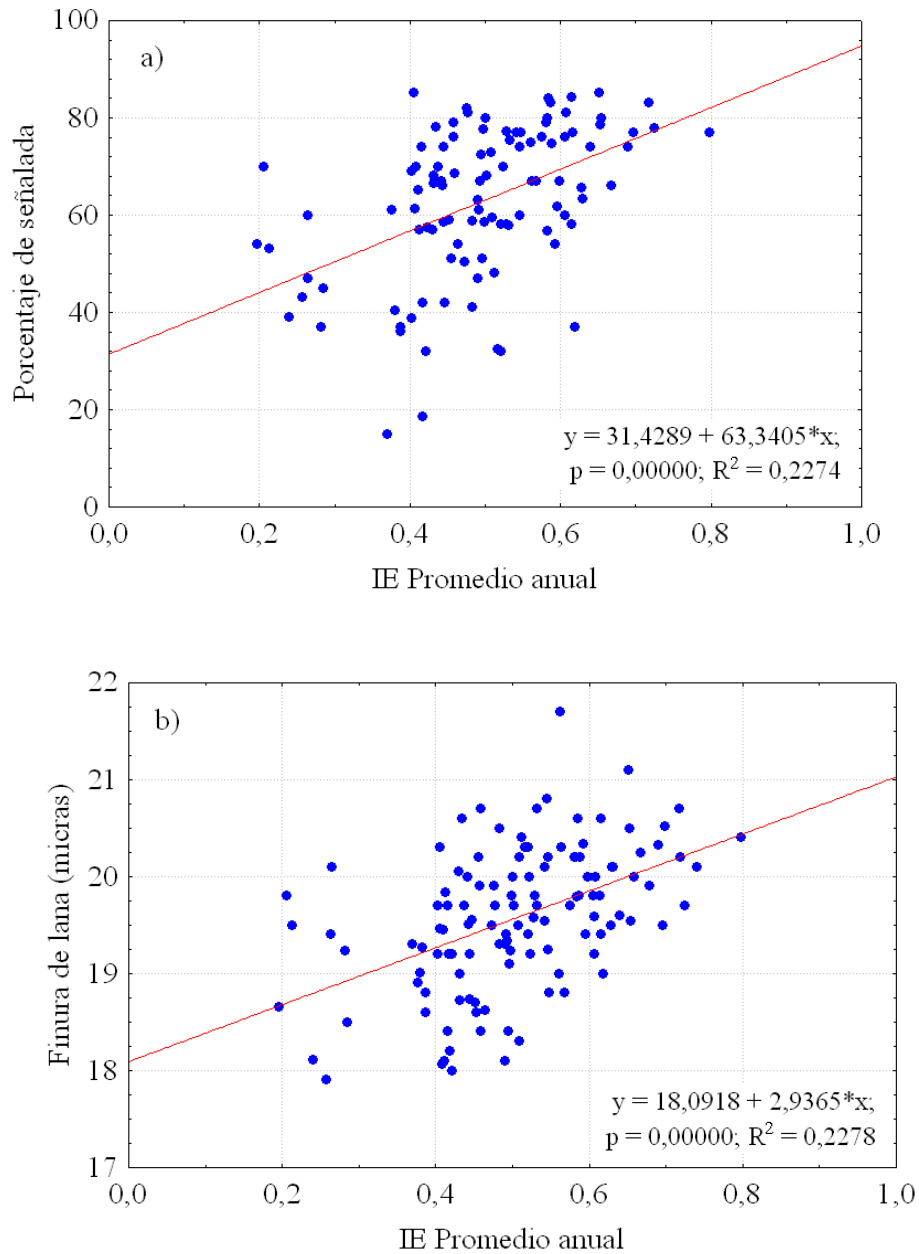


Figura 3.28. Relación entre IE promedio anual y a) porcentaje de señalada, y b) finura de lana para el conjunto de establecimientos del área de estudio en el período 1995-2008.

Laporte (1975) señala la importancia que tiene el monte sobre el estado nutricional de los ovinos, siendo éste el factor fundamental que gobierna el ritmo de crecimiento y el diámetro de la lana. Menciona también, que para una buena producción son beneficiosas las lluvias de fines de verano y comienzo de otoño, observando la correspondencia entre el aumento del crecimiento de lana y del peso de los animales cuando aparece forraje verde después de un periodo de sequía. Como consecuencia de las bajas

temperaturas invernales no hay disponibilidad de forraje verde durante esa estación, y la respuesta en el crecimiento se observa recién a partir de fines de agosto y septiembre. Respecto al crecimiento y diámetro de la lana, los menores valores ocurren en los meses de invierno y los mayores se presentan durante el verano, existiendo mucha semejanza entre los valores de otoño y primavera.

Se realizó un análisis de correlación entre el IE mensual y los índices productivos, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.7. Los índices que presentaron mayores niveles de significancia fueron: producción de lana por animal, con un $R=0,42$ para el mes de febrero; porcentaje de señalada para el mes de mayo, con un $R=0,43$, y finura de lana para el mes de noviembre del año previo, con un $R=0,43$.

Tabla 3.7. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y el IE, período 1995-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$.

IE	Carga (anim/ha)	Producción de lana (kg/anim)	Señalada (kg/ha)	Señalada (%)	Rinde al peine (%)	Finura (micras)
Septiembre (previo)	0,18	-0,04	0,07	0,26*	0,31***	0,14
Octubre (previo)	0,08	0,01	0,08	-0,11	0,10	0,20*
Noviembre (previo)	0,20*	0,15	0,18	0,22*	0,25*	0,43***
Diciembre (previo)	0,21*	0,05	0,15	0,09	0,21*	0,36***
Enero	0,08	0,11	0,13	0,13	0,22*	0,26**
Febrero	0,07	0,42***	0,28**	0,30**	0,02	0,37***
Marzo	-0,02	0,31**	0,15	0,19	0,10	0,39***
Abril	0,08	0,09	0,12	0,40***	0,08	0,23*
Mayo	-0,02	-0,07	-0,04	0,43***	0,12	-0,10
Junio	0,02	0,31**	0,14	0,19	0,04	0,30**
Julio	0,01	-0,12	-0,01	0,09	0,04	-0,10
Agosto	-0,17	-0,18	-0,12	0,06	-0,03	-0,12

Al igual que con la información pluviométrica se realizó un análisis de correlación de los índices productivos con los datos bimestrales del IE. Los índices productivos determinaron coeficientes más elevados que los obtenidos con la lluvia y con mayores niveles de significancia (Tabla 3.8). Tanto la señalada como finura de lana fueron los índices productivos que alcanzaron correlaciones más altas y un elevado grado de significancia ($p<0,001$). En el bimestre marzo-abril la relación entre IE y el porcentaje de señalada y en noviembre-diciembre para finura, presentaron $R=0,45$ y $R=0,46$, respectivamente.

Tabla 3.8. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y los valores bimestrales de IE, período 1995-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.

IE	Carga (anim/ha)	Producción de lana (kg/anim)	Señalada (kg/ha)	Rinde al peine (%)	Finura (micras)	
Sep-Oct (previo)	0,17	-0,03	0,11	0,11	0,27**	0,21
Nov-Dic (previo)	0,23*	0,09	0,18	0,16	0,28**	0,46***
Ene-Feb	0,09	0,39***	0,29**	0,27*	0,14	0,40***
Mar-Abr	0,05	0,30**	0,22*	0,45***	0,13	0,44***
May-Jun	-0,01	0,15	0,06	0,39***	0,10	0,12
Jul-Ago	-0,07	-0,19	-0,07	0,10	0,02	-0,14

Identificados los bimestres de mayor correlación con los índices productivos, se obtuvieron los modelos estadísticos correspondientes. Para todos los modelos analizados se incluyó la carga animal como tercer variable, ya que el ajuste mejora considerablemente al incorporar ésta variable de manejo.

Para producción de lana por animal, el modelo de mejor ajuste es el que incorpora la disponibilidad de agua del bimestre enero-febrero, con un coeficiente de determinación $R^2=0,40$ (n=99) (Figura 3.29). Los valores de IE para el bimestre presentan una variación entre 0,02 y 0,67, en tanto la producción de lana presenta un rango entre 2,95 kg/animal, para valores más bajos de IE, y 6,91 kg/animal para valores altos de IE, con un promedio de 4,4 kg/animal. El valor más bajo se registró en el establecimiento La Argentina en el año 2006, y el valor más alto en Berna en el año 1998.

$$\begin{aligned} & \text{Producción de lana (kg/animal)} \\ & = (3,76954) + (1,77704) * \text{IE} e - f + (0,94678) * \text{carga animal}^2 \\ & R^2=0,40; n=99 \end{aligned}$$

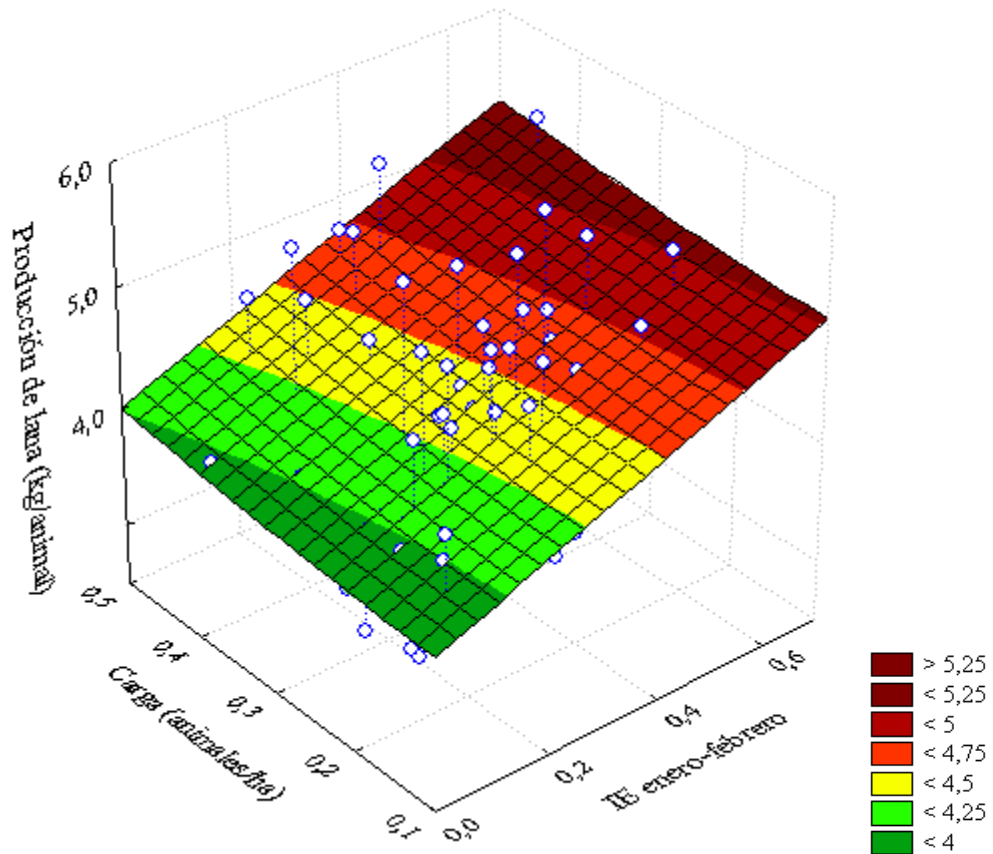


Figura 3.29. Superficie de respuesta de la producción de lana por animal con respecto a la carga animal y el índice de evapotranspiración relativa (IE) del bimestre enero-febrero.

El modelo obtenido para calcular la producción de lana por unidad de superficie se presenta en la Figura 3.30, que emplea el IE del bimestre enero-febrero como variable independiente. Al igual que con la lluvia, este periodo del año fue el que mejor explicó la variación del índice productivo. Los valores de productividad varían entre 0,55 kg/ha y 2,44 hg/ha. La producción de lana se incrementa, para diferentes valores de carga animal, al aumentar los valores de IE. El valor más alto de producción de lana se obtuvo con una carga de 0,45 animales/ha y un IE de 0,40. Este valor corresponde al establecimiento Santa Elena para el año 1998, considerando que fue un año con precipitaciones similares a la media y que en el año 1997 las precipitaciones fueron superiores a la media. El valor más bajo de producción de lana se obtuvo, para una carga de 0,16

animales/ha, con un IE de 0,06 que corresponden al establecimiento La Filomena para el año 2005, que presenta los valores más bajos de precipitaciones con respecto al resto de los establecimientos.

$$\begin{aligned} & \text{Producción de lana (kg/ha)} \\ & = \text{carga animal} / ((0,328678) + (0,196263) * \text{IE e, f} + (-0,30517) * \sqrt{\text{IE e, f}}) \\ & R^2=0,90; (n=99) \end{aligned}$$

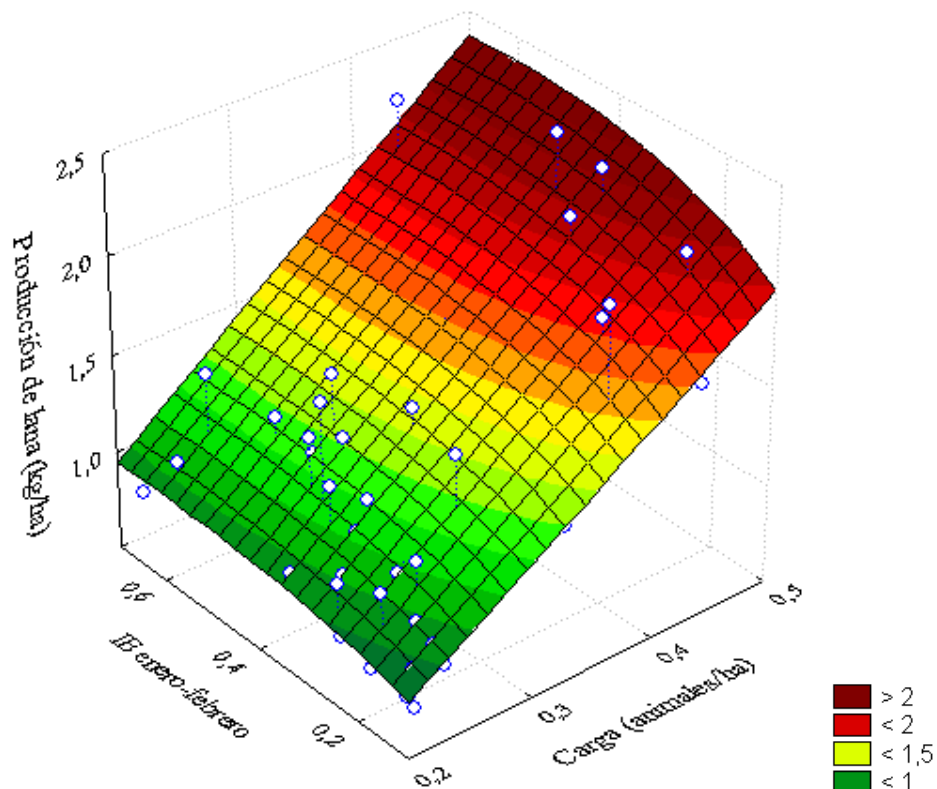


Figura 3.30. Superficie de respuesta de la producción de lana por unidad de superficie con respecto a la carga animal y el índice de evapotranspiración relativa (IE) del bimestre enero-febrero.

La Figura 3.31 ilustra el modelo desarrollado para estimar el porcentaje de señalada, cuya variabilidad fue explicada, además de la carga animal, por el IE del bimestre marzo-abril. Los valores de IE varían entre 0,02 y 0,81. Se observa que, con cargas medias (0,27 animales/ha), el porcentaje de señalada se incrementa cuando los valores de IE aumentan.

$$\begin{aligned} & \text{Porcentaje de señalada} \\ & = (46,2786) * \exp((0,566777) * \text{IE m, a} + (1,26258) * \text{carga animal}^2) \\ & R^2=0,54; n=102 \end{aligned}$$

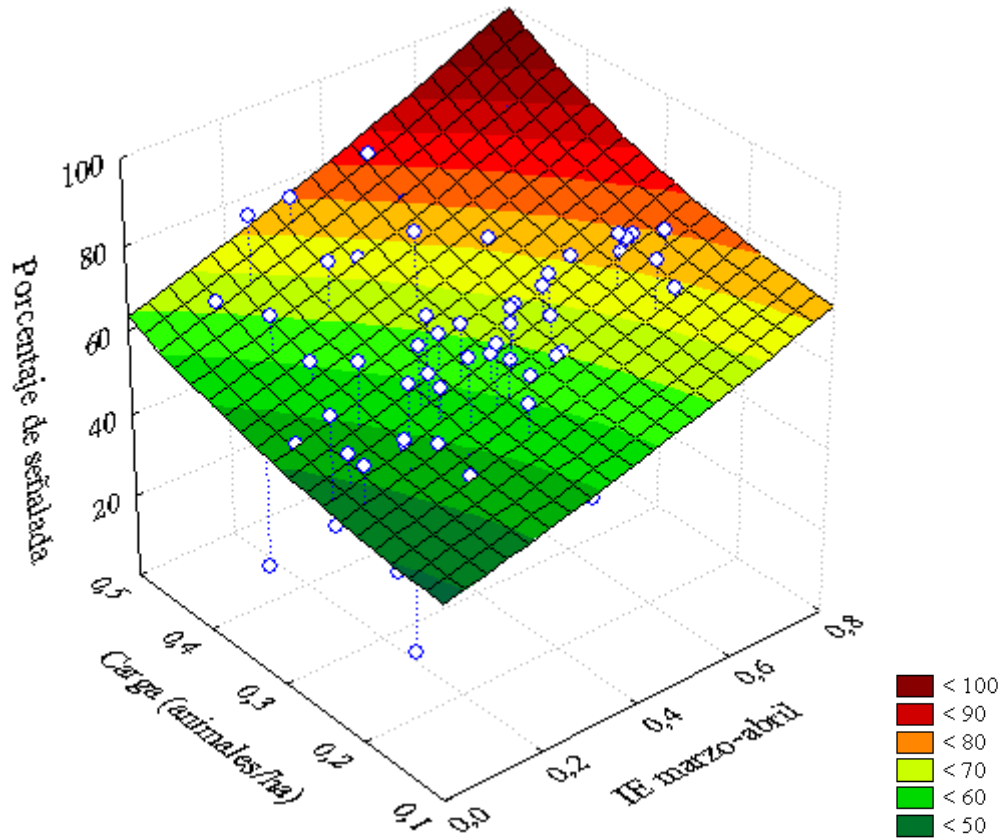


Figura 3.31. Superficie de respuesta del porcentaje de señalada con respecto a la carga animal y el índice de evapotranspiración relativa (IE) del bimestre marzo-abril.

En la Figura 3.32 se puede observar el modelo ajustado para estimar finura de lana. Considerando la carga animal, el IE que explicó las variaciones de finura de lana con un coeficiente de determinación $R^2=0,54$ fue el bimestre noviembre-diciembre del año anterior. Los valores de finura variaron entre 17,9 micrómetros y 21,7 micrómetros y los de IE entre 0,01 y 0,9. El diámetro medio de las fibras fue de 19,6 micrómetros. El valor mínimo de finura se registró en el establecimiento La Filomena en el año 2004, y el valor más alto se registró en el establecimiento La Isabel en el año 1998.

La mayor concentración de puntos se encuentra en las cargas medias, donde los valores en el diámetro medio de fibras aumentan al incrementarse los valores de IE.

$$\text{Finura de lana (micras)} = (48,0898) * \exp((0,489087) * \text{IE n, d} + (1,28283) * \text{carga animal}^2)$$

$$R^2=0,54; n=100$$

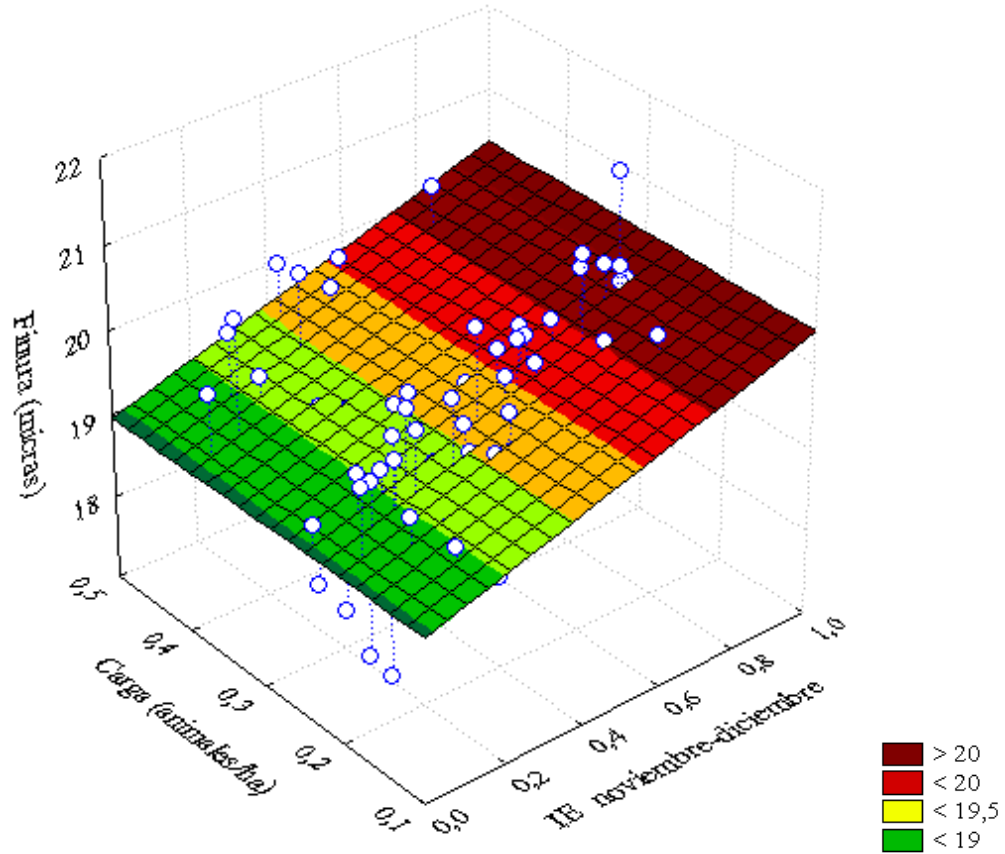


Figura 3.32. Superficie de respuesta de la finura de lana con respecto a la carga animal y el índice de evapotranspiración relativa (IE) del bimestre noviembre-diciembre.

Los modelos obtenidos con el IE no varían con respecto a los que se desarrollaron utilizando las precipitaciones. Tanto para la producción de lana por animal, como para el rinde por superficie, el bimestre enero-febrero fue el que presentó mayor influencia. Para el porcentaje de señalada el valor de IE que mejor ajustó en los modelos fue el bimestre marzo-abril y, para finura, noviembre-diciembre para el IE, y marzo-abril cuando se aplicó la lluvia. Para éste último índice productivo se obtuvo un coeficiente de determinación más alto cuando el modelo utiliza IE en lugar de la lluvia.

4. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA CON ÍNDICES DE VEGETACIÓN MODIS

En un primer análisis de los datos del índice de vegetación EVI se observó (Figura 3.33) que todos los establecimientos en estudio presentan un perfil multitemporal similar, con establecimientos cuyos EVI son sistemáticamente inferiores o superiores al promedio anual y, por lo tanto, resultan claramente identificables (Figuras 3.34; 3.35 y 3.36).

Los valores anuales del EVI medio mostraron un gradiente importante, con valores entre 0,07, correspondiente al establecimiento La Argentina en el año 2008, y 0,20, en La Teutonia en el año 2001. La dinámica estacional del EVI en los distintos establecimientos mostró claras diferencias, corroborando su pertenencia a las distintas biozonas (Figura 3.40), principalmente entre el área costera y la zona de Pedimentos mesetiformes.

Los establecimientos La Filomena y La Argentina presentaron el menor índice de vegetación, manteniendo ésta condición para todos los años de estudio, con un índice promedio para los ocho años de 0,09 y 0,10, respectivamente (Figura 3.33). Los establecimientos San Eduardo y Cerro Cóndor con valores de EVI de 0,11, tienen la misma distribución anual de los anteriores y valores que no alcanzan el promedio. La Isabel, con un EVI promedio de 0,12, y Berna con 0,13, son los establecimientos más cercanos al promedio general (con un valor de 0,12). Santa Elena, San Jorge y La Teutonia con valores promedios de 0,14; 0,15 y 0,16, respectivamente, superan de manera algo más amplia el promedio general.

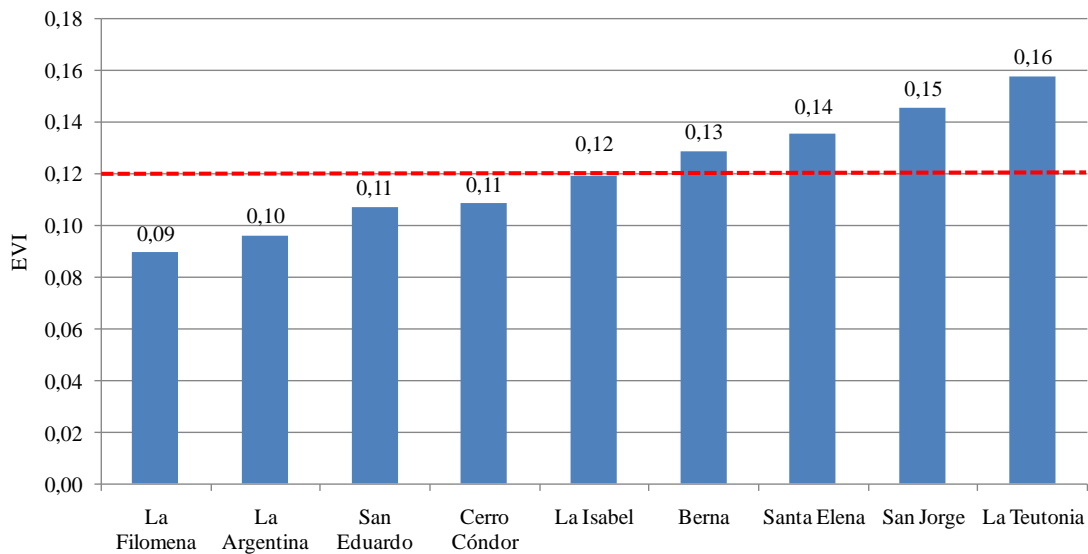


Figura 3.33. Valores medios anuales de EVI para los establecimientos del área de estudio en el periodo 2000-2008. La línea roja punteada representa el promedio de EVI para toda la región.

A los efectos de un posterior análisis, se tomo como criterio arbitrario y según inspección visual, para agrupar los establecimientos una franja de valores de EVI +/- 10 % respecto de la media anual. De esta forma se establecieron tres grupos de establecimientos, que serán analizados independientemente para una mejor interpretación de los datos.

El grupo de establecimientos con índices de vegetación superiores al promedio general (Grupo 1), está constituido por La Teutonia, San Jorge y Santa Elena. En la Figura 3.34 se puede observar su variación a lo largo del tiempo, con una tendencia lineal negativa para el promedio de los índices de los tres establecimientos. Dentro del rango observado, se registró un valor mínimo de 0,10 a fines del mes de abril del año 2002, y un máximo de 0,18 a principios de abril en el año 2003.

En la distribución temporal de este grupo entre 2000 y 2008, al igual que para el resto de los grupos, se observa que los valores máximos se registraron en los meses de noviembre, mayo, octubre, abril, agosto, mayo, septiembre-octubre, septiembre-octubre, septiembre, respectivamente. Los valores más bajos de EVI fueron registrados en los

meses de febrero, diciembre, abril, diciembre, marzo, enero, diciembre, enero y febrero respectivamente para el periodo analizado.

Por su parte, durante el periodo 2000 al 2008, los mayores valores de precipitación se registraron en los meses de septiembre (149,0 mm), julio (47,1 mm), agosto (137,0 mm), febrero (103,9 mm), julio (68,5 mm), junio (159,2 mm), agosto (55,6 mm), mayo (93,0 mm) y mayo (83,0 mm), respectivamente (Tabla 4. Anexo).

Contabilizando el tiempo transcurrido entre la ocurrencia del valor máximo de precipitación mensual hasta que se produce el valor máximo de EVI, se observa un retardo de 1 a 4 meses en la respuesta del índice espectral. Estos períodos de retraso en la respuesta de la vegetación también fueron reportados por Nightingale y Phinn (2001); Xulin y Pierrot (2004) y Fabricante *et al.* (2009) en otras regiones.

En las Figuras 3.34 a 3.36 se observa que a partir del mes de agosto del año 2001 el EVI sufre un marcado descenso que se prolonga hasta mediados de 2002. Este descenso se registra en todos los establecimientos. A partir del año 2006 se observa un paulatino descenso de los valores de EVI, y luego un leve aumento hacia el año 2008. Si se considera el registro de precipitaciones, el año 2001 presentó los valores más bajos del período analizado (2000-2008), y también se observan precipitaciones relativamente escasas en 2006, con un paulatino aumento hacia el final del período evaluado.

Este comportamiento coincide con lo observado por Karabulut, (2003), quien reporto que los valores de NDVI son altos para los años con precipitaciones similares y mayores a la media (años húmedos). A la inversa, en un año seco se presentan valores bajos de NDVI, sugiriendo una alta influencia de la sequía en los valores de las imágenes EVI y NDVI, que resulta más moderada cuando los años son húmedos.

En la Figura 3.35 se puede observar la evolución del índice de vegetación para los establecimientos pertenecientes al Grupo 2 (Berna, La Isabel, Cerro Cóndor y San Eduardo). Al igual que el Grupo 1, presenta una tendencia lineal negativa. Para el pe-

riodo analizado se observa que el rango en los valores de EVI promedio del Grupo 2, presenta un valor mínimo de 0,09 y un máximo de 0,15.

Los establecimientos La Argentina y La Filomena en el Grupo 3 y cuyos índices de vegetación son los más bajos, presentan una tendencia lineal relativamente más ajustada ($R^2=0,30$) y una pendiente negativa mayor al resto de los grupos (Figura 3.36). Se puede observar que tienen la misma distribución temporal, aunque el rango entre los valores máximos y mínimos es menos pronunciado que en los establecimientos de los otros grupos. Los valores promedio del grupo varían entre 0,07 y 0,11.

Similares resultados fueron reportados por Karabulut, (2003), donde encuentra una mayor respuesta del NDVI a condiciones de sequía más que a condiciones de abundante humedad. Las fluctuaciones de los eventos de lluvia que podrían resultar en excesos o déficit de agua, estarían influenciando el ciclo fenológico de las diferentes formaciones de vegetación durante el período de crecimiento.

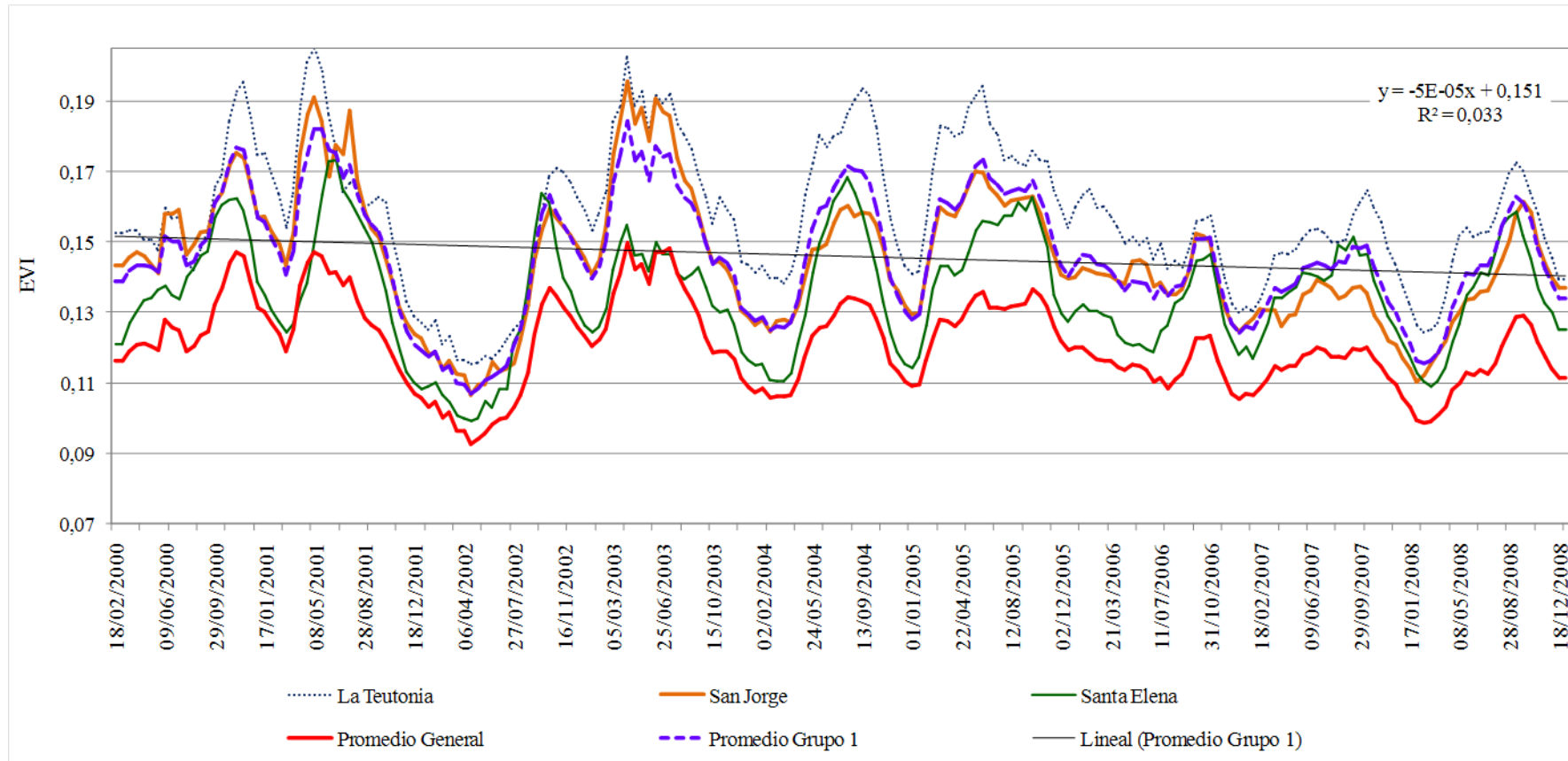


Figura 3.34. Series de tiempo de EVI para los establecimientos del Grupo 1 en el período 2000-2008. Con línea roja se grafica el promedio general de los establecimientos del área de estudio. Con línea recta se grafica la tendencia del grupo.

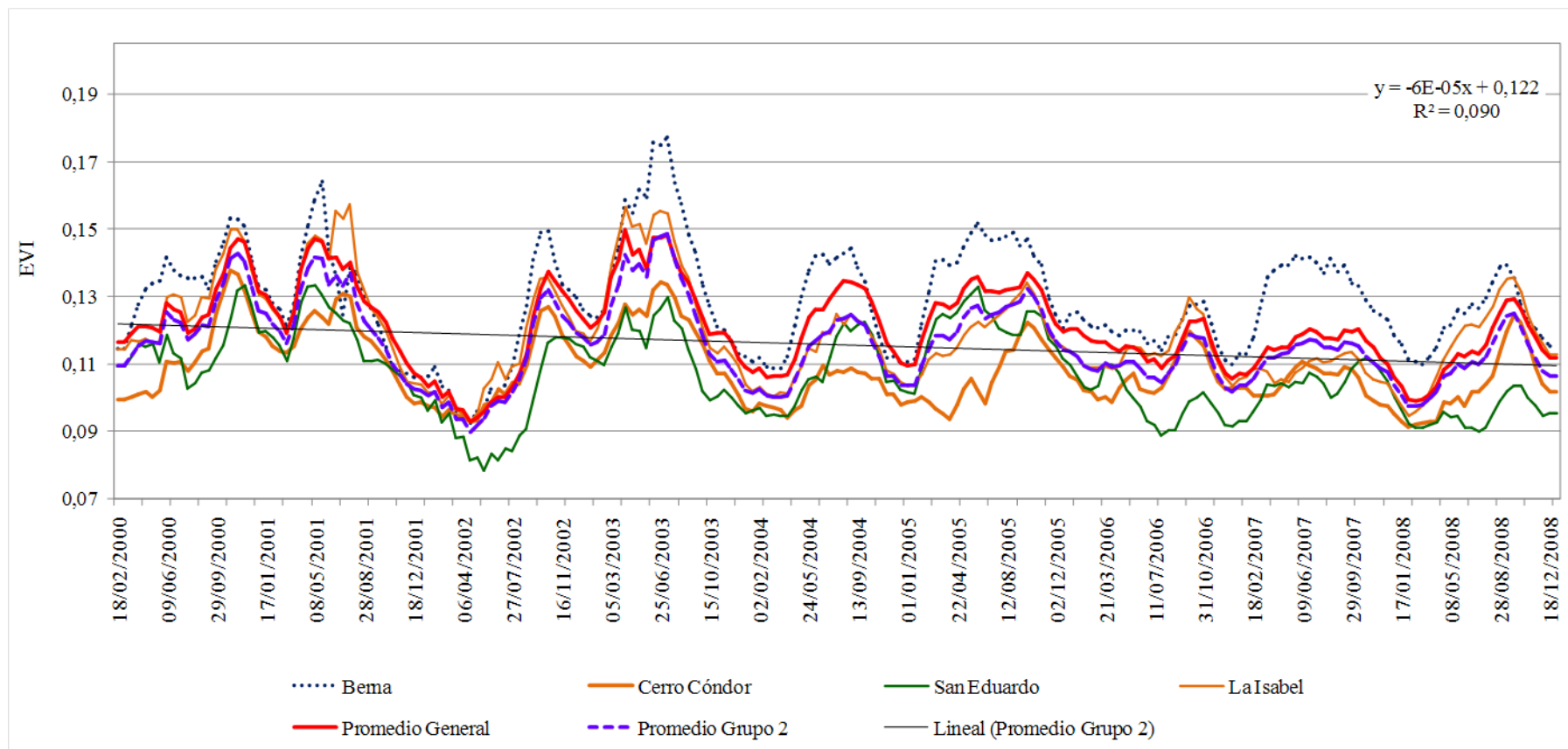


Figura 3.35. Series de tiempo de EVI para los establecimientos del Grupo 2 en el período 2000-2008. Con línea roja se grafica el promedio general de los establecimientos del área de estudio. Con línea recta se grafica la tendencia del grupo.

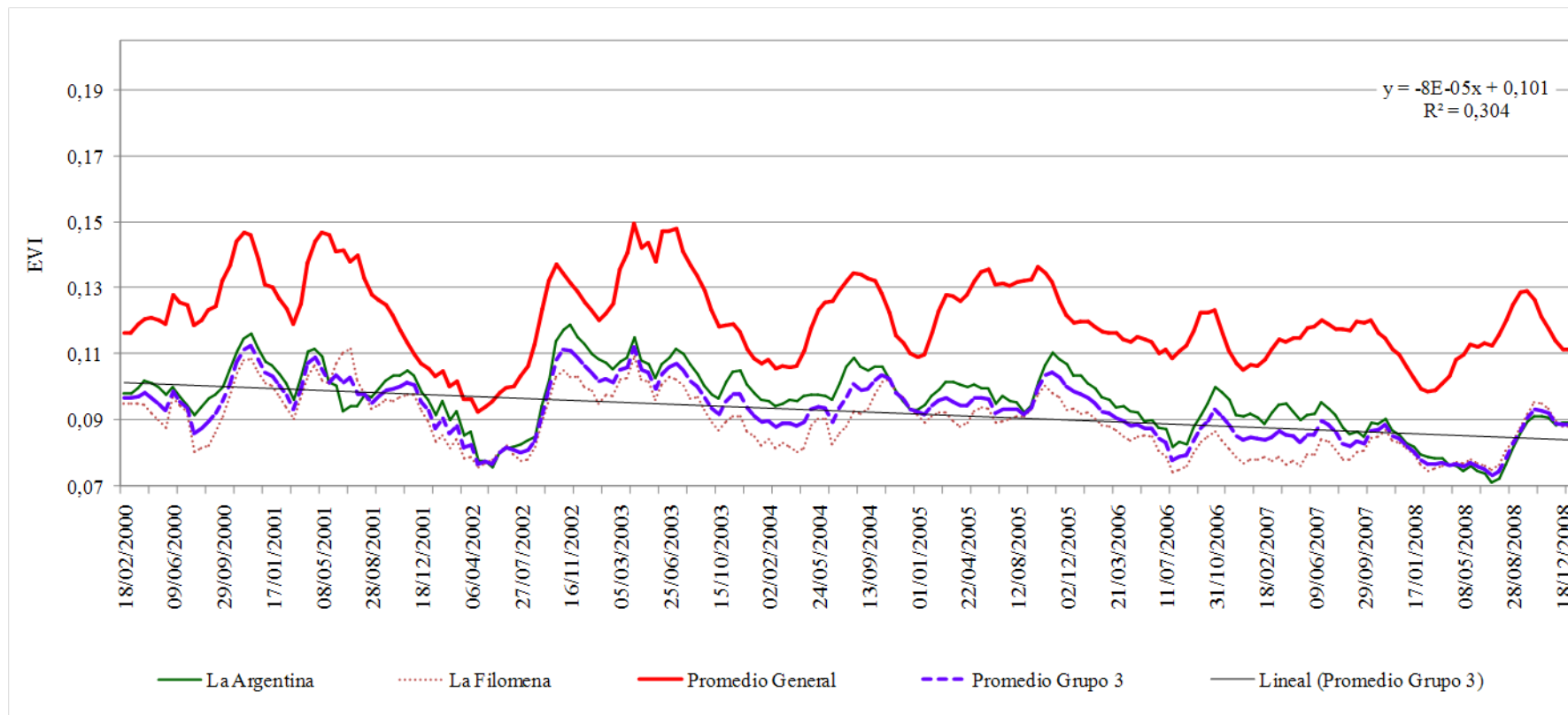


Figura 3.36. Series de tiempo de EVI para los establecimientos del Grupo 3 en el período 2000-2008. Con línea roja se grafica el promedio general de los establecimientos del área de estudio. Con línea recta se grafica la tendencia del grupo.

Se realizó un análisis preliminar para investigar la relación entre la lluvia y el EVI para los nueve establecimientos estudiados. Esta relación fue significativa con un $R^2=0,16$ (Figura 3.37). Cuando se analizó la relación entre el IE y EVI, se determinó una regresión lineal más significativa, con un $R^2=0,28$ (Figura 3.38).

Estos resultados concuerdan con otros autores, quienes encontraron una correlación significativa positiva, entre NDVI y precipitaciones del año (Nithtingale y Phinn, 2001; Fabricante *et al.* (2009), o la ocurrida en años previos (Fabricante *et al.*, 2009).

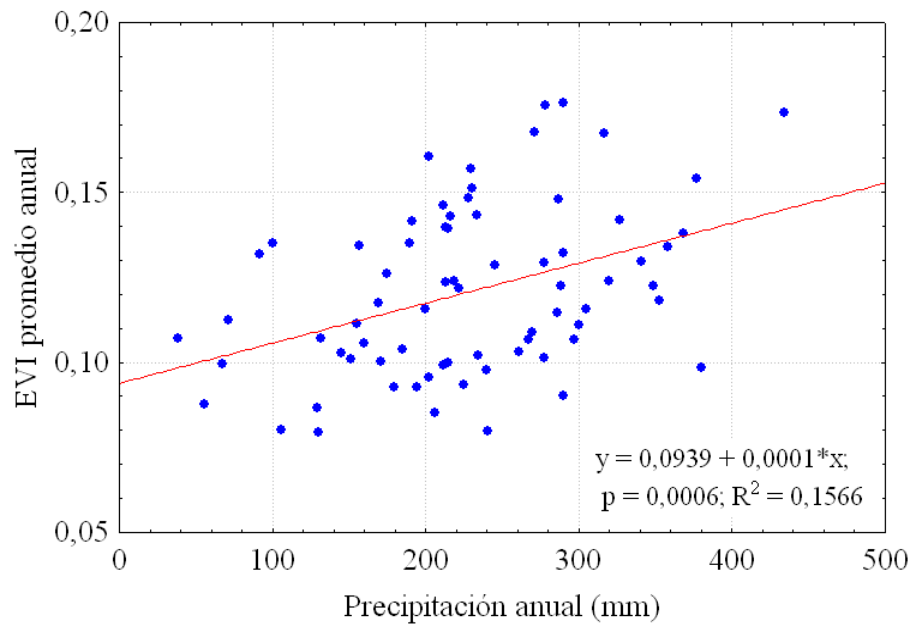


Figura 3.37. Regresión lineal de los valores medios anuales de EVI y las precipitaciones, para todos los establecimientos del área de estudio en el período 2000 a 2008.

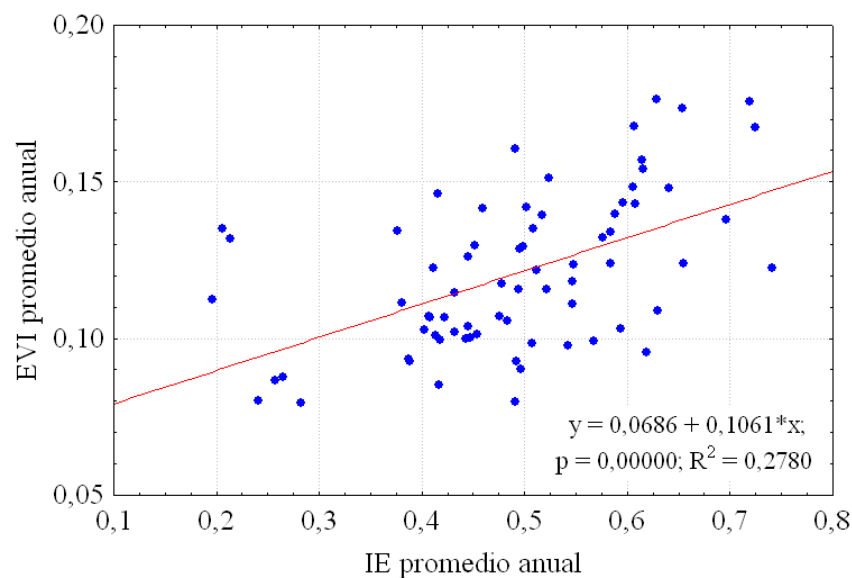


Figura 3.38. Regresión lineal de los valores medios anuales de EVI y el IE, para todos los establecimientos del área de estudio en el período 2000 a 2008.

La relación con el IE coincide con lo expuesto por Xulin (2004) quien, comparando diferentes índices de humedad con imágenes EVI, determinó que el índice de humedad puede explicar una variación importante del EVI anual. Los índices de vegetación de MODIS pueden expresar con eficacia y precisión las condiciones de la sequía, especialmente EVI (Xulin, 2004).

Para evaluar si existe una mayor relación entre precipitaciones y el EVI se realizó un análisis de correlación mensual, para todos los establecimientos del área de estudio (Tabla 3.9). Solo se registraron diferencias con distinto nivel de significancia para los meses de septiembre del año previo y febrero. El mismo análisis se realizó a partir de valores mensuales de IE, donde se puede observar (Tabla 3.10) que el número y los niveles de significancia aumentan en forma considerable para las correlaciones con respecto a lo observado para las precipitaciones.

Tabla 3.9. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre las precipitaciones mensuales (mm) y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.

EVI	Precipitaciones (mm)											
	Sep (previo)	Oct (previo)	Nov (previo)	Dic (previo)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Septiembre (previo)	0,12	-0,04	0,08	0,3	0,12	0,26	-0,06	0,16	-0,04	0,09	0,14	0,08
Octubre (previo)	0,31*	0,0003	0,18	0,22	-0,02	0,2	0,1	0,07	-0,08	0,03	0,11	-0,05
Noviembre (previo)	0,48***	-0,04	0,27	0,14	-0,12	0,1	0,12	0,13	-0,17	-0,05	0,22	-0,13
Diciembre (previo)	0,46***	-0,07	0,27	0,19	-0,1	0,12	0,12	0,1	-0,17	-0,03	0,19	-0,11
Enero	0,38**	-0,02	0,19	0,23	-0,03	0,23	0,11	0,04	-0,17	0,07	0,15	-0,09
Febrero	0,3*	0,04	0,06	0,13	0,004	0,5	0,2	-0,02	-0,06	0,21	0,07	-0,16
Marzo	0,41***	0,06	0,09	0,02	-0,07	0,5***	0,34	-0,04	-0,07	0,15	0,06	-0,26
Abril	0,48***	0,0041	0,2	-0	-0,13	0,43***	0,26	0,12	-0,15	0,12	0,19	-0,31
Mayo	0,39***	0,02	0,16	-0	-0,13	0,44***	0,19	0,21	-0,14	0,11	0,24	-0,3
Junio	0,38***	0,04	0,12	-0,1	-0,16	0,42***	0,23	0,21	-0,08	0,07	0,22	-0,29
Julio	0,34**	0,03	0,1	-0	-0,17	0,39***	0,19	0,27	-0,09	0,06	0,26	-0,28
Agosto	0,23	0,02	0,13	0,04	-0,08	0,33*	0,1	0,35	-0,01	0,03	0,25	-0,19

Tabla 3.10. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre el IE y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,001.

EVI	IE											
	Sep (previo)	Oct (previo)	Nov (previo)	Dic (previo)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Septiembre (previo)	0,12	0,18	0,2	0,39***	0,3	0,33**	0,07	0,21	-0,06	0,07	0,14	0,03
Octubre (previo)	0,28*	0,38**	0,38***	0,46***	0,39***	0,33**	0,23	0,15	-0,11	0,12	0,15	-0,11
Noviembre (previo)	0,38***	0,43***	0,49***	0,48***	0,42***	0,25*	0,24	0,21	-0,19	0,1	0,23	-0,19
Diciembre (previo)	0,39***	0,42***	0,5***	0,51***	0,46***	0,28*	0,25	0,19	-0,19	0,15	0,2	-0,15
Enero	0,31*	0,42***	0,42***	0,51***	0,47***	0,38**	0,26**	0,13	-0,18	0,17	0,19	-0,12
Febrero	0,28*	0,42***	0,33*	0,38***	0,42***	0,62***	0,36***	0,08	-0,01	0,19	0,18	-0,09
Marzo	0,33**	0,5***	0,4***	0,37**	0,42***	0,64***	0,48***	0,08	0,01	0,17	0,2	-0,18
Abril	0,35**	0,45***	0,46***	0,34**	0,37**	0,56***	0,39*	0,22	-0,04	0,1	0,3*	-0,21
Mayo	0,28*	0,39***	0,38**	0,28*	0,28*	0,54***	0,31**	0,29*	-0,02	0,05	0,32*	-0,19
Junio	0,28*	0,4***	0,36**	0,26*	0,25*	0,52***	0,34*	0,3*	0,03	0,03	0,29*	-0,21
Julio	0,24*	0,36**	0,33**	0,27*	0,22	0,49***	0,29	0,35**	0,04	0,0019	0,29*	-0,2
Agosto	0,15	0,23	0,26*	0,23	0,16	0,39***	0,18	0,41***	0,09	-0,04	0,26*	-0,13

Para evaluar si la correlación entre la disponibilidad de agua y los valores de EVI mejoraban, se analizó la relación entre el EVI mensual y la precipitación en forma bimestral. Las correlaciones aumentaron para ambas variables, aunque los valores de R fueron superiores al utilizar IE. Con respecto a las precipitaciones (Tabla 3.11), las mejores correlaciones se obtuvieron con las precipitaciones del bimestre septiembre-octubre del año previo, afectando los valores de EVI desde el mes de noviembre a junio. Las precipitaciones registradas en el bimestre enero-febrero se reflejaron en los valores de EVI de los meses de febrero a mayo. El bimestre marzo-abril también se vio reflejado en los meses de junio a agosto de EVI.

Similares estudios fueron realizados por Nightingale y Phinn (2001), que mostraron una alta y significativa correlación entre valores de precipitación acumuladas de dos a cuatro meses previos a los valores de NDVI. En general, la vegetación tiene mayor respuesta a eventos de precipitación de varios meses que a las ocurridas en un mes en particular (Karabulut, 2003).

Tabla 3.11. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre las precipitaciones bimestrales (mm) y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

EVI	Precipitaciones (mm)					
	Sep-Oct	Nov-Dic	Ene-Feb	Mar-Abr	May-Jun	Jul-Ago
Septiembre (previo)	0,11	0,28	0,29	0,12	0,06	0,16
Octubre (previo)	0,32	0,28	0,2	0,16	-0,01	0,03
Noviembre (previo)	0,48***	0,28	0,07	0,23	-0,13	0,01
Diciembre (previo)	0,45***	0,31	0,1	0,2	-0,11	0,01
Enero	0,38***	0,3	0,22	0,14	-0,05	0,01
Febrero	0,33**	0,14	0,48***	0,15	0,13	-0,09
Marzo	0,45***	0,08	0,46***	0,23	0,09	-0,19
Abril	0,5***	0,12	0,37**	0,32	0,0014	-0,18
Mayo	0,41***	0,09	0,39***	0,35	0,01	-0,14
Junio	0,41***	0,04	0,36	0,38***	0,01	-0,14
Julio	0,37	0,06	0,33	0,4***	0,01	-0,11
Agosto	0,25	0,12	0,3	0,41***	0,04	-0,04

Cuando se analizaron los valores de IE a nivel bimestral con los valores mensuales de EVI, se observó un aumento en los valores de R para todos los períodos considerados. El valor más alto se registró en el bimestre enero-febrero para el EVI de marzo con un $R=0,69$ ($p < 0,001$) (Tabla 3.12).

Tabla 3.12. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre el IE bimestral y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

EVI	IE					
	Sep-Oct	Nov-Dic	Ene-Feb	Mar-Abr	May-Jun	Jul-Ago
Septiembre (previo)	0,21	0,31*	0,39***	0,25*	-0,0047	0,15
Octubre (previo)	0,45	0,46***	0,42***	0,29*	-0,0047	0,05
Noviembre (previo)	0,55*	0,53***	0,36**	0,36**	-0,07	0,04
Diciembre (previo)	0,55***	0,56***	0,41***	0,34**	-0,05	0,05
Enero	0,49***	0,5***	0,49***	0,29*	-0,02	0,06
Febrero	0,45***	0,38**	0,68***	0,29*	0,11	0,08
Marzo	0,54***	0,41***	0,69***	0,35**	0,11	0,02
Abril	0,51***	0,43***	0,6***	0,44***	0,03	0,07
Mayo	0,43***	0,35**	0,56***	0,46***	0,01	0,11
Junio	0,44***	0,33*	0,53***	0,48***	0,04	0,07
Julio	0,39***	0,31*	0,49***	0,5***	0,02	0,08
Agosto	0,25*	0,25*	0,38***	0,49***	0,02	0,11

Se realizó asimismo un análisis entre la precipitación y el IE bimestrales, considerando los valores de EVI agrupados también por bimestres. No se obtuvieron valores de R superiores a las del análisis mensual. Se observa que los coeficientes de correlación fueron mayores cuando se relacionó al EVI con los datos del IE (Tabla 3.12 y 3.14).

En las tablas 3.13 y 3.14, los mayores coeficientes encontrados tanto para la precipitación como para el IE, correspondieron al bimestre septiembre-octubre, afectando los valores de EVI del bimestre noviembre-diciembre y marzo-abril; y las precipitaciones y el IE del bimestre enero-febrero reflejado en el bimestre marzo-abril del EVI.

Los resultados de Fabricante *et al.* (2009) reportan también que cuando el NDVI se correlaciona con precipitaciones de períodos de longitud variable, la variación anual del NDVI se correlaciona mejor con la precipitación de los períodos menores al año y, sobre todo, con la estación de crecimiento anterior.

Tabla 3.13. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los bimestres de las precipitaciones (mm) y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

EVI	Precipitaciones (mm)					
	Sep-Oct	Nov-Dic	Ene-Feb	Mar-Abr	May-Jun	Jul-Ago
Sep-Oct	0,22	0,28*	0,25	0,14	0,02	0,10
Nov-Dic	0,47***	0,29*	0,09	0,22	-0,12	0,01
Ene-Feb	0,36**	0,22	0,36***	0,15	0,04	-0,04
Mar-Abr	0,48***	0,10	0,42***	0,28*	0,04	-0,19
May-Jun	0,41***	0,07	0,37**	0,37**	0,01	-0,14
Jul-Ago	0,31*	0,09	0,32*	0,41***	0,02	-0,08

Tabla 3.14. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los bimestres del IE y EVI, período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones con distinto nivel de significancia. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

EVI	IE					
	Sep-Oct	Nov-Dic	Ene-Feb	Mar-Abr	May-Jun	Jul-Ago
Sep-Oct	0,33**	0,39***	0,41***	0,27*	-0,0032	0,10
Nov-Dic	0,55***	0,55***	0,39***	0,35**	-0,06	0,05
Ene-Feb	0,48***	0,44***	0,60***	0,30*	0,05	0,07
Mar-Abr	0,53***	0,43***	0,65***	0,40***	0,07	0,04
May-Jun	0,44***	0,34***	0,54***	0,47***	0,03	0,09
Jul-Ago	0,32*	0,29*	0,44***	0,50***	0,02	0,09

La notable disparidad en la asociación entre el índice de vegetación y la precipitación en las diferentes formaciones vegetales indican que las relaciones temporales entre precipitaciones y EVI no son directas ni casuales. Varios autores también reportaron que, las imágenes NDVI están directamente relacionadas y son el resultado de las precipitaciones ocurridas durante la estación de crecimiento (Karabulut, 2003) y con las lluvias de agosto a diciembre para la estepa Patagónica de Tierra del Fuego (Posse y Cingolani, 2000). Según Karabulut (2003), la intensidad y el momento de ocurrencia de la lluvia tienen un impacto en el desarrollo de la vegetación y la producción de biomasa. Cuando las lluvias ocurren en etapas finales del ciclo de crecimiento anual, la vegetación no responde al evento de lluvia como ocurre en etapas tempranas, por lo tanto eventos de lluvia tardía no afectan o incrementan el valor de NDVI porque la vegetación ya habría llegado al fin del periodo de crecimiento.

El comportamiento de la lluvia tiene un impacto significativo en el desarrollo de la vegetación durante la estación de crecimiento. La frecuencia de los eventos de lluvia en un determinado periodo de tiempo, como periodos mensuales y bimestrales, es muy

importante para el desarrollo de la vegetación, coincidiendo con lo reportado por Karabulut (2003), quien afirma además que otros factores locales como la cobertura y tipo de suelo, característicos del área, como así también las prácticas del hombre, afectan la vegetación y, por lo tanto, los valores de NDVI.

Se analizó la relación entre los promedios mensuales de los nueve establecimientos en estudio para EVI y el IE (Figura 3.39). Se obtuvo una correlación significativa entre ambas variables, con un $R^2=0,65$ ($p < 0,01$). En la figura se observa la variación de ambos índices a lo largo de año, cuyos valores son elevados en los meses de septiembre-octubre, descienden y llegan a su mínimo en los meses más calurosos del año, enero-febrero, para luego aumentar durante los meses de invierno. En los meses de septiembre-octubre, cuando se produce el pico de producción de la vegetación, especialmente las especies anuales, los valores de EVI son mayores a los del IE. En los meses más calurosos, especialmente enero, existe una gran pérdida de agua desde el suelo y plantas, por lo tanto los valores del IE son mínimos; los valores bajos del EVI se corresponden con el período de dormancia y senescencia que tienen las especies predominantes de la zona durante el verano (Massara Paletto, 2010). A partir del mes de abril, comienzan a ser importantes las reservas de agua en el suelo, ya que comienza la segunda etapa del crecimiento vegetativo de los pastos, con un pico máximo en los meses desde abril a noviembre según las especies.

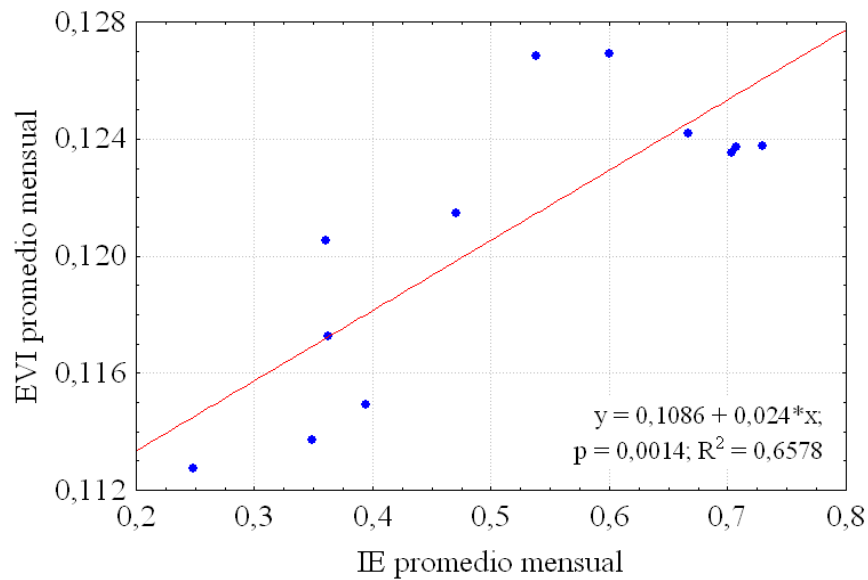
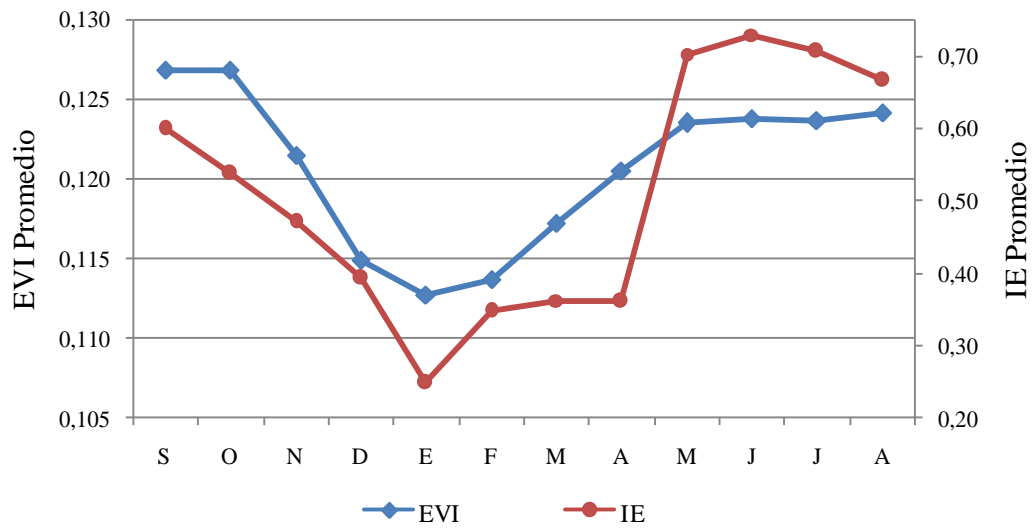


Figura 3.39. Distribución mensual de los valores medios de EVI y el IE para el total de los establecimientos del área de estudio en el período 2000-2008 (arriba) y relación lineal entre ambas variables (abajo).

5. RELACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN MODIS CON INDICADORES DE LA PRODUCTIVIDAD OVINA

A los efectos de evaluar la relación entre los indicadores de producción ovina y la información espectral fueron incorporados al análisis diez establecimientos más que disponían de registros de productividad. Los nuevos establecimientos se categorizaron dentro de los tres grupos considerados anteriormente de acuerdo a sus valores anuales

de EVI y, a su vez, se distinguieron los que disponen de registros de lluvias, como muestra la Figura 3.40. Los establecimientos incorporados fueron: Cabo Raso, El Sauce, La Esperanza, La Juanelia, La Maciega, La Margarita, La Rosa, María Sofía, San Felipe y Pozo Hondo.

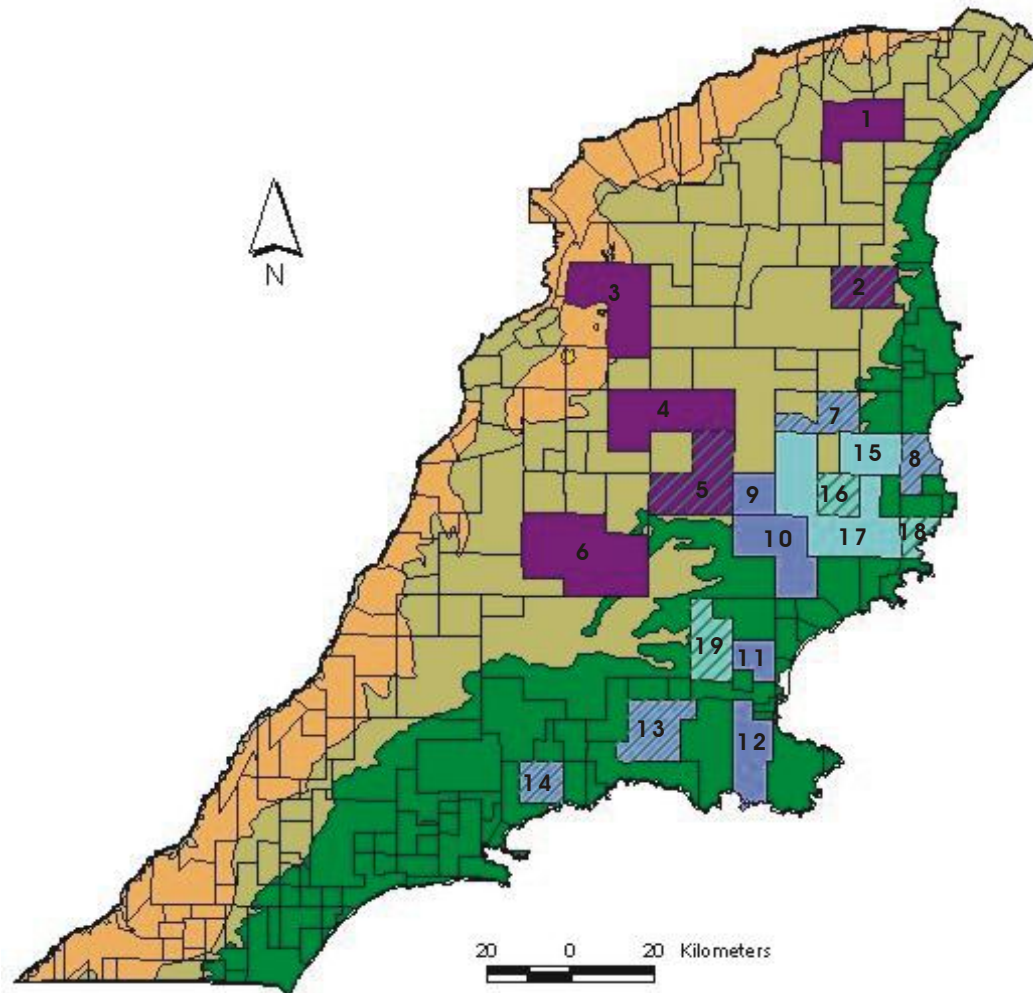


Figura 3.40. Mapa del área de estudio con la división catastral de los establecimientos. **Grupo 1** (■): Cabo Raso (15), La Teutonia (16), La Maciega (17), Santa Elena (18) y San Jorge (19). **Grupo 2** (■): San Eduardo (7), Berna (8), La Juanelia (9), La Margarita (10), María Sofía (11), El Sauce (12), La Isabel (13) y Cerro Cóndor (14). **Grupo 3** (■): Pozo Hondo (1), La Argentina (2), La Esperanza (3), San Felipe (4), La Filomena (5) y La Rosa (6). En rayado se presentan los establecimientos que cuentan con registro pluviométrico. **Unidades de paisaje:** Área costera (■); Lagos y lagunas (■); Pedimentos mesetiformes, piedemontes y terrazas (■); Relieve de erosión del grupo Chubut y complejo porfirítico (■); Valles y planicies aluviales (■).

Se realizó un análisis de correlación entre los valores bimestrales de EVI y los índices productivos. Las correlaciones tuvieron distinto nivel de significancia, de modo

que en la Tabla 3.15 solo se incluyeron aquellas que presentaban la correlación más alta ($p < 0,001$).

Tabla 3.15. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y los valores de EVI bimestrales en el período 2000-2008. En negrita se muestra la correlación más alta para cada índice con un nivel de significancia $p < 0,001$.

EVI	Carga	Producción de lana		Señalada	Rinde al peine	Finura
	(anim/ha)	(kg/anim)	(kg/ha)	(%)	(%)	(μ)
Sep-Oct (previo)	0,84	0,35	0,85	0,44	0,51	0,20
Nov-Dic (previo)	0,77	0,34	0,80	0,40	0,51	0,29
Ene-Feb	0,76	0,45	0,84	0,47	0,51	0,33
Mar-Abr	0,67	0,56	0,81	0,53	0,45	0,42
May-Jun	0,69	0,51	0,80	0,54	0,43	0,34
Jul-Ago	0,75	0,43	0,82	0,56	0,43	0,22

También se realizó para cada uno de los tres grupos de establecimientos un análisis de EVI con los datos de producción. Los resultados a nivel de grupo no arrojaron diferencias significativas con respecto a los valores globales (todos los establecimientos) (Anexo II). Por lo tanto, los modelos de regresión se desarrollaron utilizando un conjunto único de datos.

Para la variable producción de lana por animal el modelo que mejor ajustó fue el que utilizó información de EVI del bimestre marzo-abril. Los valores de EVI variaron entre 0,07 para el establecimiento La Esperanza, en el año 2008, y 0,19 para La Teutonia en 2001. Los valores de producción de lana variaron entre 2,95 y 6,14, con un promedio de 4,11 (kg/animal). En la Figura 3.41 se puede observar que el rendimiento de lana (kg/animal) disminuye al incrementarse la carga animal.

$$\text{Producción de lana (kg/animal)} = \exp((1,70996) + (-0,06398)/\text{EVI m, a} + (-0,21349) * \log(\text{carga animal}))$$

$$R^2=0,66; n=143$$

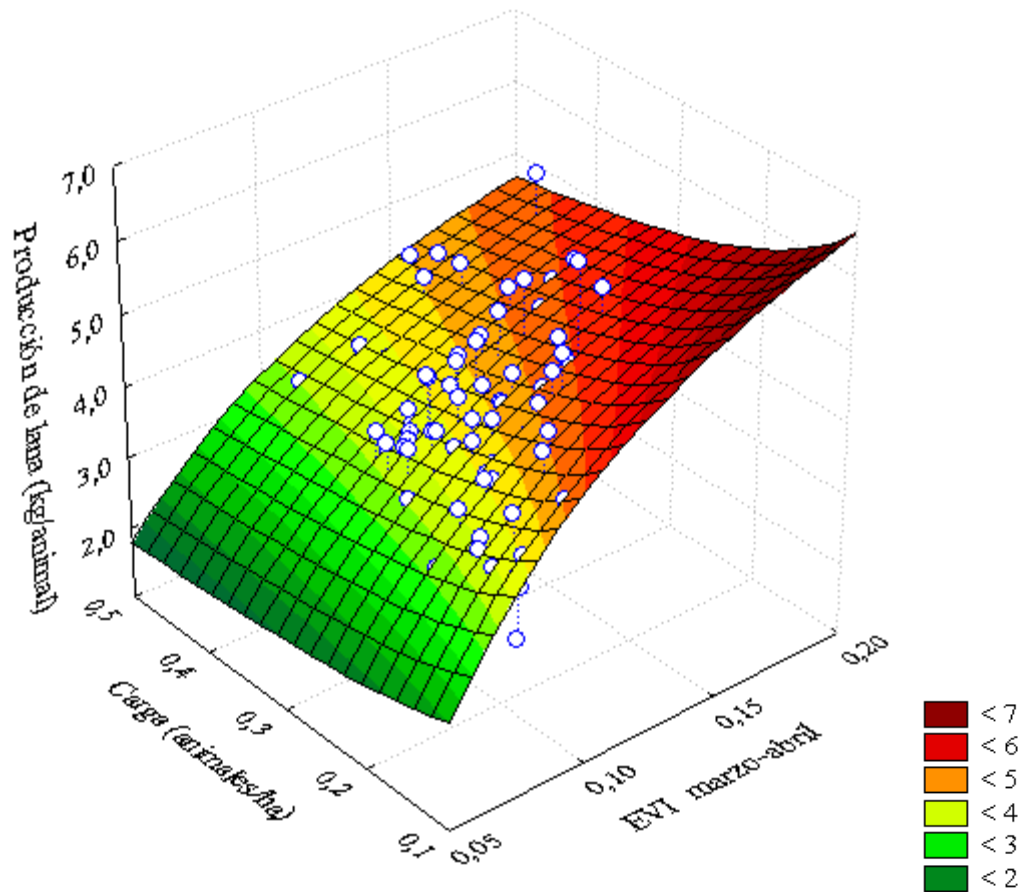


Figura 3.41. Superficie de respuesta de la producción lana por animal con respecto a la carga animal y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) del bimestre marzo-abril.

El modelo que mejor ajustó para estimar la producción de lana por unidad de superficie también emplea el EVI del bimestre marzo-abril, obteniendo un alto coeficiente de determinación $R^2=0,95$ ($n=143$). Los valores de producción de lana variaron entre 0,26 y 2,30, con un promedio de 1,11 (kg/ha). Aumentos en la carga animal y en los valores de EVI, se ven reflejados en aumentos en la producción de lana por hectárea (Figura 3.42). El modelo establece que los aumentos en la producción de lana están asociados con incrementos de la carga animal y del EVI.

$$\begin{aligned} & \text{Producción de lana (kg/ha)} \\ & = (3,38996) * \text{EVI m, a} + (4,75259) * \text{carga animal} + (-0,338) \\ & R^2=0,95; n=143 \end{aligned}$$

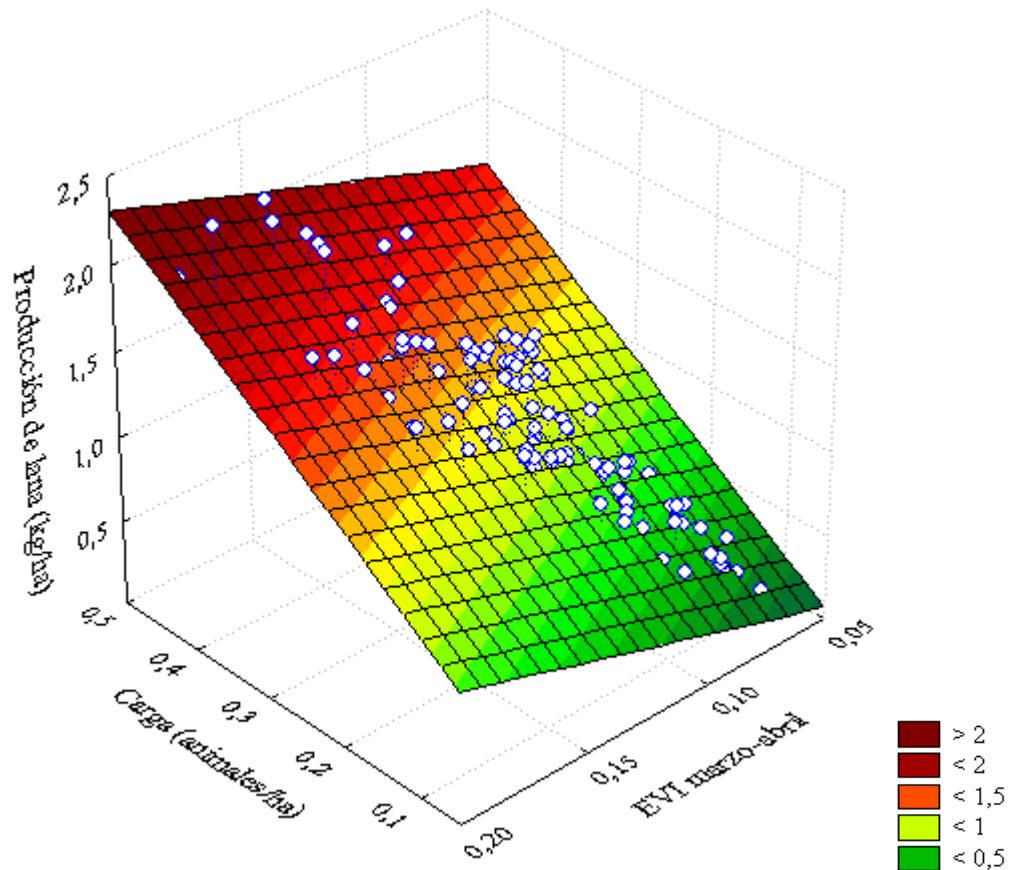


Figura 3.42. Superficie de respuesta de la producción lana por unidad de superficie con respecto a la carga animal y el Índice de Vegetación Mejorada (EVI) del bimestre marzo-abril.

Para estimar el índice de porcentaje de señalada, el modelo que incluye el EVI del bimestre julio-agosto fue el que presentó mejor desempeño predictivo, con un coeficiente de determinación de $R^2=0,62$ ($n=143$). En la Figura 3.43 se puede observar que los valores de señalada variaron entre 12% y 87%, con un promedio de 61%. Los porcentajes de señalada menores al 20% se registraron en el año 2007 para los establecimientos La Esperanza, Pozo Hondo y San Felipe, presentando valores de EVI entre 0,07 y 0,09. Los valores de señalada mayores al 80% se registraron en los años 2003 y 2005, con valores de EVI que variaron entre 0,12 y 0,17.

Similares resultados fueron reportados por Hall (2000), quien encuentra una correlación positiva entre el NDVI de mayo y el porcentaje de señalada. Expresa además, que las principales limitantes para obtener altos índices reproductivos se presentan cerca de la parición, y están asociados a aspectos de nutrición. Las evidencias que existen en cuanto al efecto de la alimentación durante el último tercio de la gestación y la lactancia temprana sobre la supervivencia de los corderos, explicarían la relación causal subyacente (Alexander y Peterson, 1961; Irazoqui, 1981; McDonald *et al.*, 1997; citados de Hall, 2000).

En el estudio realizado por Hall (2000) se estableció que más del 40% de la variabilidad espacial en el porcentaje medio de señalada fue explicada solamente por dos variables ambientales: el índice verde normalizado medio anual, y la temperatura superficial media de primavera, trabajando con animales de raza merino para la zona noroeste de la región Patagónica.

$$\text{Porcentaje de señalada (\%)} = (50,5631) * \text{carga animal} ** ((-0,71179) + ((0,061851))/\text{EVI } j, a)$$

$$R^2 = 0,62; n=143$$

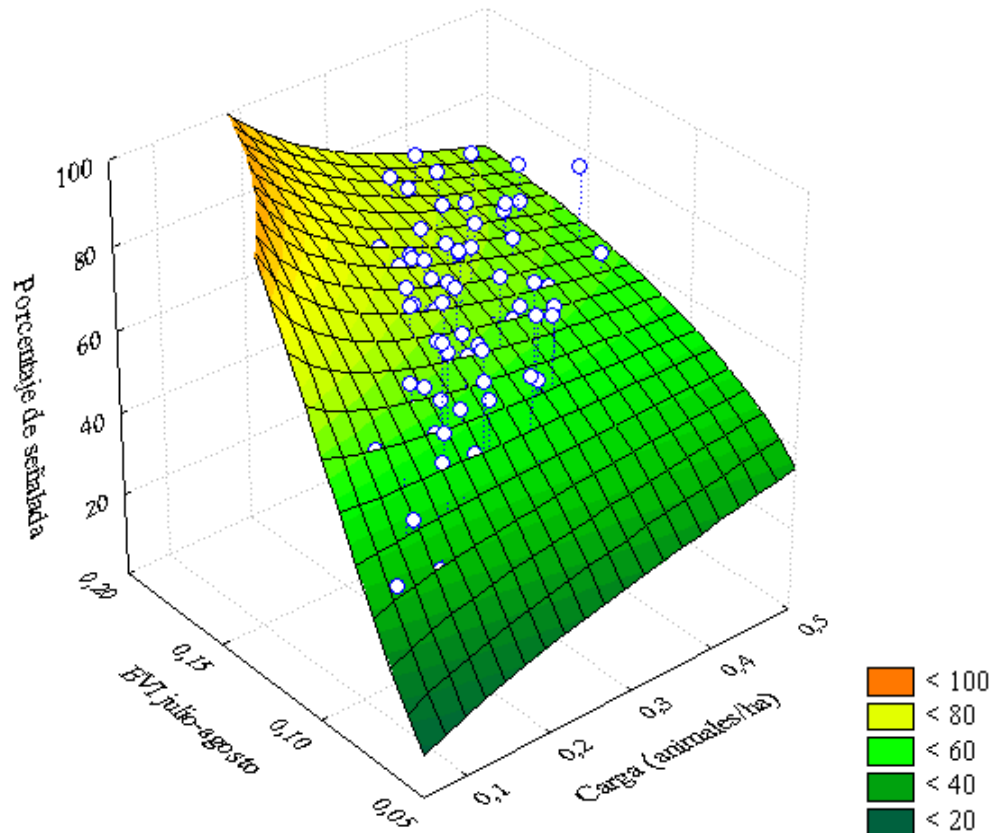


Figura 3.43. Superficie de respuesta del porcentaje de señalada con respecto a la carga animal y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) del bimestre julio-agosto.

El EVI del bimestre enero-febrero es la información espectral más ligada con el índice de rinde al peine que, incorporada en un modelo de regresión, produce, un coeficiente de determinación $R^2=0,53$ ($n=145$). En la Figura 3.44 se observa que los porcentajes de rinde al peine aumentan con incrementos en los valores de EVI y de carga animal. Los valores de rinde variaron entre 51,8 y 69,5%, con un promedio de 61,4%. El valor más bajo se registró en el año 2003 en el establecimiento La Filomena, cuyo valor de EVI fue de 0,09; y el valor más alto en el año 2006 para La Teutonia, con un EVI de 0,16.

$$\begin{aligned} &\text{Rinde al peine (\%)} \\ &= (55,6017) + (60,19) * \text{EVI}_{e,f} * (-0,03067) / \text{carga animal}^2 \\ &R^2=0,53; n=145 \end{aligned}$$

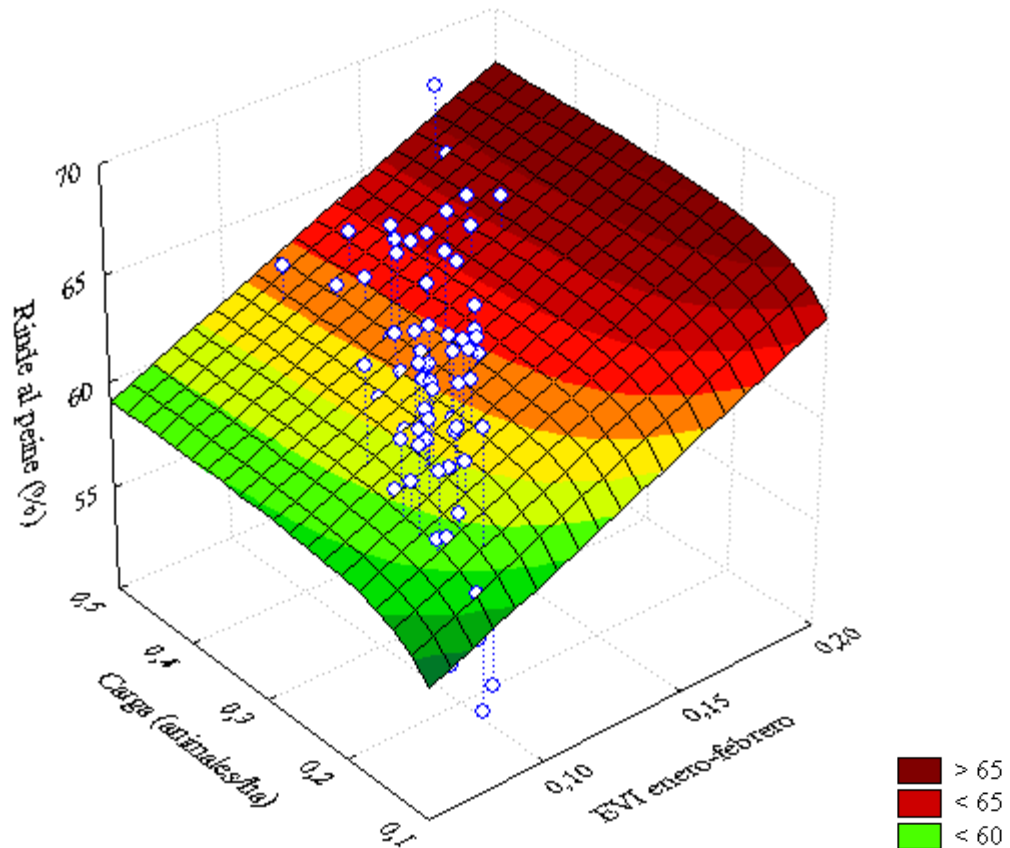


Figura 3.44. Superficie de respuesta del rinde al peine con respecto a la carga animal y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) del bimestre enero-febrero.

Para el índice finura de lana, el modelo que alcanzó mejor desempeño predictivo incorpora el EVI del bimestre marzo-abril, con un coeficiente de determinación $R^2=0,62$ (Figura 3.45). Los valores de finura variaron entre 17,9 y 21,4 micras, con un promedio de 19,4 micras. El valor más bajo se registró en el año 2004 para el establecimiento La Filomena, con un EVI de 0,08; y el valor más alto para el año 2001 del establecimiento La Rosa, cuyo valor del índice fue de 0,12. Aumentos en la carga animal produjeron leves disminuciones en el diámetro medio de las fibras de lana.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Whelan *et al.* (2008), quienes obtuvieron una fuerte relación entre NDVI y el diámetro medio de las fibras en ovejas

merino de Australia, demostrando además que la información espectral de NDVI puede ser de utilidad para proveer estimaciones semanales del crecimiento de las pasturas.

$$\begin{aligned} & \text{Finura de lana (micras)} \\ & = (19,7161) + 0,263705/\text{carga animal} + (-0,01523)/\text{EVI}_{\text{m, a}^2} \\ & \quad R^2=0,62; n=145 \end{aligned}$$

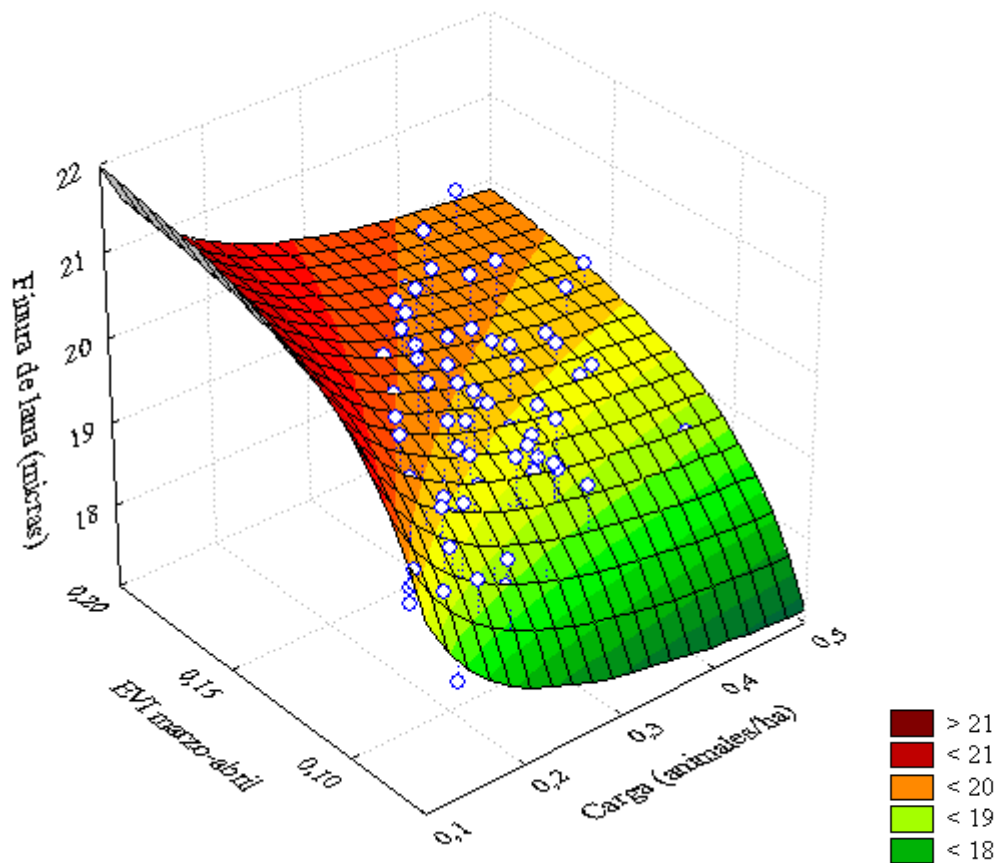


Figura 3.45. Superficie de respuesta de la finura lana con respecto a la carga animal y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) del bimestre marzo-abril.

Los resultados obtenidos con los diferentes modelos para estimar los índices de producción ovina permiten señalar que las precipitaciones al igual que el IE constituyen buenos estimadores de la producción de lana, tanto por animal como por unidad de superficie. Sin embargo, utilizar directamente los registros de lluvia representa una ventaja ya que constituye información no elaborada y, contando sólo con la precipitación de los meses de enero y febrero, es posible estimar la producción del año. Con respecto al porcentaje de señalada, se observó que tanto la lluvia como el IE del bimestre marzo-abril pueden ser utilizados para estimar el desempeño productivo de las majadas, con un lige-

ro mejor ajuste al emplear IE. Para finura de lana se observó un mejor ajuste al utilizar el IE del bimestre noviembre-diciembre del año previo, siendo un mejor estimador que las precipitaciones del bimestre marzo-abril. La desventaja que se presenta al utilizar el IE es que necesita los registros históricos de precipitaciones del establecimiento para realizar los cálculos del balance de agua, lo cual representa una dificultad adicional para el productor. Por ésta razón, las precipitaciones corren con la ventaja de ser un dato accesible para todos los productores y de implementación directa para procesar los modelos de estimación.

La incorporación de información de EVI a partir de imágenes satelitales MODIS ha mostrado un desempeño apropiado y constituye un gran avance tecnológico para estimar la producción agropecuaria de la región. A partir de los modelos propuestos, es factible estimar los índices de producción ovina más importantes con mayor confiabilidad que utilizando la lluvia o el IE. Para los indicadores de producción, tanto por animal como por hectárea y finura de lana, el EVI del bimestre marzo-abril fue el mejor estimador de los rendimientos. Para porcentaje de señalada, el EVI del bimestre que presenta mejor ajuste fue julio-agosto, coincidente con el último tercio de la gestación donde los requerimientos nutricionales de las madres son máximos. Además, se obtuvo una buena correlación entre los valores de EVI de enero-febrero y el rinde al peine, que no se había encontrado con las precipitaciones ni el IE.

El empleo de información proveniente de la teledetección permitiría a los productores, ya sea que cuenten o no con registros de precipitaciones, emplear modelos para estimar la producción animal y, en consecuencia, realizar las prácticas de manejo más convenientes tendientes a mejorar los niveles de producción.

CONCLUSIONES

Esta tesis provee información acerca del efecto de la disponibilidad hídrica sobre la productividad primaria, que se refleja indirectamente a través de los principales índices productivos ovinos y, a la vez, a partir de los índices de vegetación derivados de satélites como información asociada a la oferta forrajera y manejo de las pasturas, que posibilitaría una previsión anticipada de los periodos escasamente productivos en el área.

En las últimas décadas han sido observadas tendencias y fluctuaciones en la precipitación de la región patagónica. El fenómeno pluviométrico en las zonas áridas, particularmente en la región costera de la provincia de Chubut, se caracteriza por su alta variabilidad temporal.

La precipitación media anual para el período analizado fue de 263 mm, superando los promedios históricos de la región. Toda la región en estudio presenta un patrón de variación interanual de la lluvia similar, registrándose años con precipitaciones muy bajas, como el año 1996, seguido por años muy lluviosos como en 1997, y repitiéndose éste patrón en los años 2001 y 2002, y en el 2004 y 2005. El año 2005 presentó también variaciones de gran amplitud entre los establecimientos en la cantidad de lluvia, lo que pone de manifiesto asimismo una marcada variación espacial del fenómeno. La precipitación en la región no manifiesta una tendencia significativa permanente que indique un alejamiento de los valores observados del promedio.

Los años considerados secos presentan una gran variabilidad en la estacionalidad de la lluvia, registrándose valores más elevados en cualquier época del año. En los años húmedos, en cambio, se manifiesta una leve estacionalidad con un pico de precipitaciones en el mes de julio, y otros de menor magnitud en los meses de febrero-marzo y septiembre.

Respecto de la distribución mensual de las precipitaciones, los mayores registros ocurren principalmente en los meses de mayo y junio, seguidos por los de marzo y febrero. Las precipitaciones se hallan concentradas en la época otoño-invernal, representando el 59,2 % de las precipitaciones totales para los establecimientos del área de estudio, y no se evidencian diferencias entre las estaciones de primavera y verano, siendo este último trimestre el que presentó los mayores coeficientes de variación con respecto al resto de las estaciones.

Las correlaciones llevadas a cabo entre la precipitación anual y los índices productivos arrojaron coeficientes altamente significativos, tanto para el porcentaje de señalada como para finura de lana. El 28% de la variabilidad de la señalada y el 13% de la finura fueron explicados sólo por la precipitación anual.

Considerando el momento de ocurrencia de la lluvia durante el año, las de febrero tienen una influencia marcada en la producción de lana por animal y por hectárea. El porcentaje de señalada tuvo una correlación significativa con la precipitación en varios meses del año, aunque el mayor coeficiente corresponde al mes de abril. Para finura sucede algo similar, aunque con un mayor nivel de significancia cuando se considera la lluvia de noviembre del año previo y la de marzo. Según se desprende de los datos observados, las precipitaciones registradas en el año previo no tienen influencia decisiva sobre los índices productivos, excepto cuando se considera la finura de lana. Aparentemente, tanto para producción de lana como para porcentaje de señalada, el sistema productivo no tendría memoria de las precipitaciones ocurridas en el año previo. Los datos

agrupados por bimestres incrementaron los coeficientes de correlación para todos los índices productivos, lo que aumenta la probabilidad de desarrollar modelos más precisos.

La inclusión de la carga animal, al estandarizar la información ganadera, mejora considerablemente los resultados en los modelos desarrollados para estimar los índices productivos. Las precipitaciones del bimestre enero-febrero fueron las que mejor explican las variaciones en la producción de lana, ya sea el rendimiento por animal como por unidad de superficie. Los mayores valores de producción individual se obtienen con cargas medias, y los valores más altos de producción por hectárea ocurren en establecimientos con cargas altas, siendo las precipitaciones del bimestre enero-febrero las que tuvieron mayor influencia en éstos resultados. En la producción de lana por superficie, la carga animal es el factor determinante de los rendimientos. Los establecimientos La Argentina y La Filomena presentan los valores más bajos de producción de lana por hectárea, ambos pertenecientes a la misma zona agroecológica. A pesar que éstos establecimientos presentan valores de producción de lana por superficie bajos, no ocurre igual para la producción de lana por animal, ya que muestran valores de producción similares al promedio. Los establecimientos La Teutonia y Santa Elena, cuya carga animal fue alta durante todos los años, presentaron los valores más elevados en producción de lana por hectárea, pero no así cuando la producción de lana se evalúa por animal. Esta diferencia estaría indicando que estos establecimientos no presentan un equilibrio de carga u óptimo técnico de producción, encontrándose en un nivel de producción alto por hectárea a expensas de una baja producción individual. El desajuste estaría provocando sobrepastoreo con la consiguiente degradación del recurso forrajero, modificación en la composición de la comunidad, provocando reemplazo de especies o pérdidas de cobertura, entre otras consecuencias posibles.

La lluvia del bimestre marzo-abril es la que presenta mayor influencia sobre el indicador finura de lana. Los valores más finos de lana se obtuvieron con cargas medias

a bajas, y los más gruesos con cargas altas, para un mismo nivel de precipitación. La condición de la región agroecológica influye en la disponibilidad de alimento para los animales, de modo que en ambientes menos productivos como La Filomena se producen menores diámetros medios de fibra de lana. Santa Elena, por su parte, que pertenece a la zona agroecológica de mayor producción, con altas cargas presenta los valores de mayor diámetro medio de fibra. Las restricciones alimenticias se reflejan en el adelgazamiento de las fibras de lana, lo cual afecta la calidad industrial al disminuir su resistencia a la tracción (lana quebradiza).

La lluvia del bimestre marzo-abril es la variable que presenta mayor influencia sobre el porcentaje de señalada. Los incrementos en la señalada se corresponden con aumentos de las precipitaciones para cargas medias a bajas. Establecimientos con alta carga animal durante toda la serie, experimentaron altos porcentajes de señalada en los años lluviosos, valor que disminuye en años más secos. Estos resultados evidencian que las precipitaciones tienen mayor influencia sobre los porcentajes de señalada cuando la carga es de media a baja, ya que en este caso, cuando los años se presentan secos los porcentajes de señalada no acusaron tanta variación como los establecimientos con altas cargas. Además de éstos resultados, se desprende que las precipitaciones ocurridas durante los meses otoñales tienen gran influencia en el estado corporal en el que las madres entran al servicio, y alteran los porcentajes de señalada obtenidos. El primer factor que incide sobre la eficiencia reproductiva de la majada es la fertilidad. Esta fertilidad está condicionada por el estado de desarrollo (peso vivo) y nutricional (condición corporal) de las distintas categorías de hembras (borregas u ovejas) al servicio, para iniciar la actividad cíclica estral, ser servidas y quedar preñadas.

Al analizar la relación entre la evapotranspiración relativa (IE) y los índices productivos se evidencia que, sólo en algunos casos, los coeficientes de correlación resultan superiores a los obtenidos a partir de la precipitación. Los IE bimestrales que alcanzan correlaciones más altas con los índices productivos coinciden en general a los que obte-

nidos para la lluvia, con la excepción de la finura, en que la lluvia del bimestre noviembre-diciembre tiene mayor coeficiente de correlación.

Con respecto los modelos de regresión para estimar los índices productivos a partir de IE, tanto para producción de lana por animal como por superficie, los coeficientes de determinación no difirieron con respecto a los obtenidos con la precipitación; pero para el porcentaje de señalada y finura de lana el coeficiente de determinación resulta mayor.

Los análisis de las imágenes satelitales mostraron un similar perfil multitemporal del EVI en todos los establecimientos. Los promedios anuales presentan un gradiente importante entre los mismos corroborando su pertenencia a las distintas biozonas, principalmente entre el área costera y la zona de Pedimentos mesetiformes. Los establecimientos La Filomena y La Argentina presentaron los valores más bajos de EVI, contrastando éste último con los valores de precipitación, ya que La Argentina es uno de los establecimientos con registros más altos en el período. Las características propias de la lluvia no serían el único factor que influye en los valores del EVI, ya que otros factores locales como la topografía, características del suelo y prácticas de manejo deberían ser considerados también para explicar la respuesta de la vegetación.

Cuando se analizó la correlación del EVI con la disponibilidad hídrica se obtuvo una relación más estrecha a partir de IE que con la precipitación, por lo que este índice de sequía puede ser considerado un mejor estimador del EVI anual. Dichos resultados se confirman además, cuando esta relación se establece a escala mensual o bimestral. Los mayores coeficientes de correlación tanto para la lluvia como para IE, se obtuvieron en el bimestre septiembre-octubre, reflejados en los valores bimestrales del EVI de noviembre-diciembre y marzo-abril; y las precipitaciones y el IE del bimestre enero-febrero que se aprecia en el bimestre marzo-abril del EVI. Este retraso en la respuesta de la vegetación de algunos meses proporciona una oportunidad interesante para el pro-

nóstico de la productividad primaria neta y principalmente para el manejo de las majadas.

Con respecto a los modelos para estimar los índices productivos a partir de EVI, los coeficientes de determinación obtenidos en todos los casos fueron superiores a los modelos que utilizan la precipitación o el IE. Para producción de lana por animal o por superficie, que presenta la relación más significativa con los valores de EVI del bimestre marzo-abril, se asocia con los modelos desarrollados a partir de la precipitación o el IE del bimestre enero-febrero, teniendo en cuenta el período de respuesta en la vegetación. Con éstos resultados se puede concluir que el índice de vegetación EVI es mejor estimador de la producción de lana que las precipitaciones o el IE. Con respecto a finura de la lana, el EVI bimestral de marzo-abril reflejó una relación positiva con el diámetro medio de fibra de la lana. Aumentos en la carga animal produjeron disminuciones en el diámetro medio de la fibra de lana, posiblemente debido a la menor disponibilidad de alimento por animal. Independientemente de la pluviometría anual, los establecimientos con carga alta produjeron lanas más finas.

El modelo que emplea el EVI del bimestre julio-agosto como variable independiente produce estimaciones más precisas del porcentaje de señalada. Altos valores de carga animal influyeron negativamente en los porcentajes de señalada, y esto sucede aunque los valores de EVI sean elevados. Los valores más bajos de señalada se obtuvieron en establecimientos ubicados en la zona agroecológica menos productiva del área, correspondiente a Pedimentos mesetiformes y Relieve de erosión del Grupo Chubut para el año 2007. Los valores más altos se registraron mayormente en los años 2003 y 2005, independientemente de su localización agroecológica, con lo cual se interpreta que los años que registran altas precipitaciones o cuyo año previo registró altos valores de precipitaciones tienen mayor influencia que la zona agroecológica a la que pertenecen los establecimientos. La sobrevivencia de los corderos está fuertemente relacionada con el estado nutricional de las madres al servicio y, más aún, en el momento del parto. El estado nutricional de las madres durante el último tercio de gestación afecta la sobre-

vivencia de la cría debido a su alta incidencia sobre el peso al nacimiento y, en consecuencia, sobre las reservas energéticas que dispone el cordero para la producción de calor, además favorecerá el desarrollo de la glándula mamaria, la producción de calostro y el establecimiento del vínculo entre la oveja y su cordero.

Todos éstos resultados confirman que el índice de vegetación EVI de MODIS, en razón que permite analizar mayor información ambiental, es un mejor indicador que la precipitación y el IE para estimar la producción ovina en el área de estudio.

Sugerencias, propuestas y líneas de investigación futuras

En base a los datos se desarrollaron en esta tesis modelos para estimar una función de la distribución de la productividad y determinar así un valor asociado de la capacidad de pastoreo con cierto nivel de probabilidad. Esto permitiría la planificación en el manejo del ganado ovino que emplee criterios conservacionistas y que tome en consideración la variabilidad edafoclimática, característica de los ecosistemas áridos.

La idea de poder planificar prácticas de manejo en función de la carga, las precipitaciones, y la información satelital, permitiría no exceder la receptividad de los campos en años secos, promoviendo la sustentabilidad, y evitando daños potenciales sobre los recursos forrajeros y aprovechando las ventajas que podrían obtenerse en años con mayores precipitaciones. Se podría también determinar la carga animal máxima sustentable para cada establecimiento en años buenos, regulares o malos contando con un indicador confiable para definir cuándo ajustar.

La disponibilidad de información basada en imágenes satelitales y datos climáticos posibilitaría pronosticar muchas de las variables productivas estudiadas en éste tra-

bajo para otras áreas. A través de un monitoreo de la evolución del EVI y de las precipitaciones del área de interés, se podrían generar mapas de cada índice productivo estudiado para el área de estudio, complementándolos con recomendaciones de prácticas de manejo anticipadas y adecuadas a cada establecimiento y situación del año. Otras líneas de investigación podrían contemplar nuevos avances en la capacidad predictiva de la producción primaria neta a partir de imágenes EVI, para lo cual sería necesario contar con una mayor disponibilidad de datos basados en evaluaciones de pastizales anuales para una mayor cantidad de establecimientos y que éstas tengan continuidad en el tiempo. La interpretación de la productividad primaria neta aérea a partir de las imágenes EVI es aún una actividad pendiente; si bien muchos estudios han evaluado ésta relación en distintas áreas del mundo estos no se han realizado exhaustivamente para la región en estudio.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Anaya Acevedo J.A. 2009. Estimación mensual de emisiones por biomasa quemada para Colombia basado en imágenes de satélite. Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá. Departamento de Geografía, Madrid, España. 181 pp.
- Arbuniés R. 1998. Relevamiento y estudio del régimen climático de la provincia del Chubut. Informe final del plan de trabajo N° 1020. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Patagonia Sur. Estación Experimental Agropecuaria. Trelew, Chubut.
- Arbuniés R. 1997. Informe termopluviométrico de distintas localidades de la provincia del Chubut. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Patagonia Sur. Estación Experimental Agropecuaria. Trelew, Chubut.
- Arbuniés R. 2001. Evaluación de las precipitaciones del Valle Inferior del Rio Chubut (Período 1901-2000). Informe interno. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional Patagonia Sur. Estación Experimental Agropecuaria. Trelew, Chubut.
- Baez-González A.D, Chen P.Y., Tiscareno-López M. and Srinivasan R. 2002. Satellite-based method of estimating corn yield in real time under irrigated and non-irrigated conditions in México. *Crop Set*, 42(6): 1943-1949.
- Bannari A., Morin D., Bonn F. and Huete A.R. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13: 95-120.
- Barros V.R. 1984. Propuesta para una política Nacional de investigación en ciencias de la atmosfera. Informe a la Comisión de Ciencias de la Tierra. Centro Nacional Patagónico. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. 1-36 pp.
- Barros V.R. y Mattio H. 1977. Tendencias y fluctuaciones en la precipitación de la región Patagónica. Comisión Nacional de estudios Geo-Heliofisicos. Centro Nacional Patagónico. Puerto Madryn, Chubut.
- Barros V.R., Sian B.V. y Mattio H.F. 1979. Mapas de precipitación de la provincia del Chubut. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro Nacional Patagónico. Dirección Provincial de Recursos Hídricos.
- Barros V.R., Castañeda M.E and Doyle M. 1996. Recent precipitation trends in Southern South America to the East of the Andes: an indication of a mode of climatic variability. Pp. 41-67. In: Pinguelli Rosa L. and dos Santos M.A. (eds.). *Proceedings of Latin-American workshop on greenhouse gas emission of Energy sector and their impacts*. COPPE/UFRJ, Río de Janeiro.
- Battro P. 1990. Dinámica de la majada I. La relación capones/ovejas. Informe Técnico, Estación Experimental Agropecuaria, Centro Regional Patagonia Sur, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Trelew. Chubut.
- Beeskow A.M., Del Valle H.F. y Rostagno C.M. 1987. Los sistemas fisiográficos de la región árida y semiárida de la provincia de Chubut. Delegación Regional

Patagonia. Puerto Madryn. Chubut.

- Bell N. 1981. Precipitation. In: D.W. Goodall and R.A. Perry (Editors), *Arid land ecosystems*. Cambridge university Press, pp 373-393.
- Belda F. 1997. *Climatología y Teledetección en zonas forestales de la provincia de Alicante. Aplicación a zonas incendiadas*. Tesis Doctoral. Departamento de Termodinámica. Facultad de Física, Universidad de Valencia.
- Belda F., Melia J. y Segarra D. 1999. Relación entre el NDVI, precipitación y humedad del suelo. Aplicación a zonas forestales de la provincia de Alicante. *Teledetección: Avances y aplicaciones*. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España, 80-83 pp.
- Beltrán A. 1997. *Caracterización microclimática del distrito occidental de la estepa patagónica*. Tesis Magíster. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 109 pp.
- Bisigato J.A. and López Laphitz M.R. 2009. Ecohydrological effects of grazing-induced degradation in the Patagonian Monte, Argentina. *Austral Ecology*, 34: 545-557.
- Bork E.W. and Werner S.J. 1999. Viewpoint: Implications of spatial variability for estimating forage use. *J Range Manage*, 52: 151-156.
- Borrelli P. 2001. Producción animal sobre pastizales naturales. Cap. 5. pp 131-162. En: *Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral*. Borrelli P. y Oliva G., (ed). Reg. Patagonia Sur, 272 pp.
- Brown G.D. and Hutchinson J.C.D. 1973. *Climate and animal production. The Pastoral Industries of Australia*. G. Alexander and O.B. Williams. Sydney University Press, 567 pp.
- Burgos J.J., Troha A. y Forte Lay J.A. 1992. Capacidad de agua y verificación de modelos de estimación de valores mínimos de almacenaje en algunos suelos áridos y semiáridos. *Geoacta* N° 19, 87-95 pp.
- Canziani O., Forte Lay J.A. y Thoha A. 1992. Estacionalidad de las precipitaciones en el territorio continental argentino. *Geoacta*, 19: 21-36.
- Castañeda M.E. y Barros V.R. 1994. Las tendencias de la precipitación en el cono sur de América al este de los Andes. *Meteorológica* 49:23-32.
- Chuvieco Salinero E. 2008. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio*. 3.a edición actualizada. Editorial Ariel, S.A. Barcelona, España. 594 pp.
- Colombani E N. y Arbunies R. 2008. Distribución de las precipitaciones an la provincial del Chubut. *Actas: XII Reunión Argentina de Agrometeorología*. San Salvador de Jujuy. Argentina.
- Coronato F. and Bertiller M.B. 1996. Precipitation and landscape related effects on soil moisture in semi-arid rangelands of Patagonia. *Journal of Arid Envoronments* 34: 1-9.
- Curran P.J. 1981. Multispectral remote sensing of vegetation amount. *Progress in Physical Geography*, 5: 315-341.
- D'Odorico P. and Porporato A (Ed). 2006. *Dryland ecohydrology*. Springer, Dordrecht,

The Netherlands. 341 pp.

- Del Valle H.F., Labraga J.C. y Goergen J. 1995. Biozonas de la Región Patagónica. En: Lucha contra la desertificación en la Patagonia a través de un Sistema de Monitoreo Ecológico. Río Gallegos, Trelew, Puerto Madryn, Bariloche, 37-55 pp.
- Della Chiesa T. y Di Bella C.M. 2010. Estimación de los componentes del balance de agua en la región pampeana utilizando datos provenientes de sensores remotos. Actas de: XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de agrometeorología. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.
- Dracup, J.A., Lee K.S. and Paulson Jr. E.G. 1980. On the statistical characteristics of drought event. *Water Resources Research*, 16: 289-296.
- Elissalde N.O., Escobar J.M. y Llanos E.M. 2000. Mosaico de imágenes LANDSAT TM de la provincia del Chubut (Bandas 5-4-3-2). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Trelew, Chubut. 8 pp.
- Elissalde N.O., Escobar J.M., Menedín F. y La Torraca A. 2002. Sistema de Soporte de decisiones para el área geográfica de la denominación de origen lana fina Camarones. Centro Regional Patagonia Sur. Estación Experimental Agropecuaria Chubut.
- Elissalde N.O., Pappalardo J.E. y Mühleman M.S. 1995. Evaluación del estado actual de la desertificación en la transecta Chubut. En: Lucha contra la desertificación en la Patagonia a través de un Sistema de Monitoreo Ecológico. Río Gallegos, Trelew, Puerto Madryn, Bariloche, 86-106 pp.
- Elvira M. 2004. Mediciones objetivas: su importancia en la comercialización e industrialización de la lana. *Idia xxi*. Año IV N° 7: 124-129.
- Enciclopedia Microsoft ®. Encarta ®. Online 2009. Teledetección. <http://es.encarta.msn.com> © 1997-2009. Microsoft Corporation.
- Fabricante I., Oesterheld M. and Paruelo J.M. 2009. Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia. *Journal of Arid Environments*, 73: 745-753.
- FAO. 1994. Aspectos claves de las estrategias para el desarrollo sostenible de las tierras áridas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.
- Fernandez R.J. 2007. On the frequent lack of response of plants to rainfall events in arid areas. *Journal Arid Environmental*, 68: 688-691.
- Flamenco E., Rebella C., Stella Carballo y Rodríguez R. 2002. Metodología de pronóstico estacional de lluvias en regiones de la Argentina. *Revista Argentina de Agrometeorología*, Vol. 2 (2): 133-141.
- Flerchinger G.N. and Pierson F.B. 1997. Modelling plant canopy effects on variability of soil temperature and water: model calibration and validation. *Journal Arid Environment*, 35: 641-653.
- Gratzfeld J. (Ed.). 2004. Industrias extractivas en zonas áridas y semiáridas Planificación y gestión ambientales. Traducido por José M. Blanch y Delmar

- Blasco. UICN: Gland, Suiza, y Cambridge, Reino Unido. 112 pp.
- Ghazanfar S.A. 1997. The phenology of desert plants: a 3-year study in a gravel desert wadi in northern Oman. *Journal Arid Environment*, 35: 407-417.
- Grebet P. y Juarez G.A. 1977. Evapotranspiración real y potencial – conceptos fundamentales. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Suelos, Tirada interna N°64.
- Guevara J.C., Estevez O.R. y Torres E.R. 1995. Receptividad de las pasturas Naturales de la Llanura de Mendoza. *Multequina*, 4: 29-35.
- Guo N., Wang X., Cai D and Yang J. 2007. Comparison and evaluation between MODIS vegetation indices in Northwest China. Supported by The National Natural Science Foundation of China Project. Nro. 40375011. Pp 3366-3369.
- Guo X. 2003. Assessing grassland vegetation dynamics and climatological variability in the Mixed Prairie ecosystem. *Prairie Perspectives*, 6: 32-46.
- Gutiérrez L.R. 2005. Salud y condición del pastizal. II Simposio internacional de manejo de pastizales. Memorias del taller para técnicos “Inventario de pastizales”. Zacatecas, Zacatecas pp, 1-21.
- Hall S.A. 2000. Condiciones ambientales del porcentaje de señalada ovina en el noroeste de la Patagonia (Argentina): un enfoque regional. Tesis de grado. Universidad Nacional de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 88 pp.
- Heady H.F. 1975. *Rangeland Management*. McGraw-Hill Book Co. 460 pp.
- Heitschmidt R. and Taylor C. 1991. Livestock production. En: Heitschmidt and Stuth J.W. *Grazing Management. An ecological perspective*. Timber Press, Portland, Oregon, 161 pp.
- Hobbs T. 1995. The use of NOAA-AVHRR NDVI data to assess herbage production in the arid rangelands of Central Australia. *International Remote Sensing*, 16: 1289-1302.
- Hoffmann J., Nuñez S. y Gómez A. 1987. Fluctuaciones de la precipitación en la Argentina, en lo que va del siglo. Actas V Congreso Argentino y II Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. CAM/FLISMET. Buenos Aires.
- Hoffmann J. and Flores A.L. 1989. On the dynamics of the precipitation regime of the South American Continent. 173-176 pp. Third International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Buenos Aires. Argentina.
- Holechek J.L. and Pieper R.D. 1992. Estimation of stocking rate on New Mexico rangelands. *Journal Soil Water Conservation*, 47: 116-119.
- Huang J., Van den Dool H.M. and Georgai K.P. 1996. Analisis of Model-calculated soil moisture over the United States (1931-1993) and applications to long-range temperature forecasts. *Journal of climate*, 9: 1350-1362.
- Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X. and Ferreira L.G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83: 195-213.

- Huete A.R, Justice C. and Leeuwen W. 1999. MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm theoretical basis document. Version 3. University of Arizona. Tucson, Arizona 85721. 120 pp.
- Iglesias R. y Larrosa J. 2004. Factores que inciden en la eficiencia reproductiva ovina. *Idia* xxi. Año IV N° 7: 45-49.
- INDEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo Nacional 2002. Publicado en Internet, disponible en <http://www.indec.mecon.ar>. Activo mayo 2007.
- InfoStat. 2009. InfoStat version 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- INTA. 2002. Sistema de Soporte de Decisiones para el área geográfica de la denominación de origen lana fina Camarones. Centro Regional Patagonia Sur. Estación Experimental Agropecuaria Chubut.
- Jackson R.D., Pinter P.J., Reginato R.J. and Idso S.B. 1986. Detection and evaluation of plant stress for crop management decisions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 24: 99-106.
- Jobbágy E.G. 1993. Relaciones vegetación ambiente a la escala de paisaje en la estepa del distrito occidental de la Patagonia extra-andina. Undergraduate Thesis, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 61 pp.
- Jobbágy E.G.; Paruelo J.M. and León J.C. 1996. Vegetation heterogeneity and diversity in flat and mountain landscapes of Patagonia (Argentina). *Journal of Vegetation Science*, 7: 599-608.
- Karabulut M. 2003. An examination of relationships between vegetation and rainfall using maximum value composite AVHRR-NDVI data. *Turkish Journal of Botany*. 27: 93-101.
- Katsnelson J. 1964. The variability of annual precipitation in Palestine. *Archiv für Meteorologie Geophysiks und Bioclimatologie*, ser B, 13: 163-172.
- Kaurivi J., Huete A. and Didan K. 2003. Multitemporal MODIS-EVI relationships with precipitation and temperature at the Santa Rita experimental range. *USDA Forest Service Proceedings RMS-P-30*: 121-124.
- Kawamura K., Akiyama T., Yokota H., Tsutsumi M., Watanabe O. and Wang S. 2003. Quantification of grazing intensities on plant biomass in Xilingol steppe, China using Terra MODIS image. *International Workshop on Monitoring and Modeling of Global Environmental Change*, 21-22, Kioto, Japan. 8 p.
- Kemp P.R., Reynolds J.F., Pachepsky Y. and Chen J. 1997. A comparative modeling study of soil water dynamics in a desert ecosystem. *Water Resource*, 33: 73-90.
- Knipling E.B. 1970. Physical and Physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1: 155-159.
- LAB Fit Curve Fitting Software by Wilton and Cleide Diniz Pereira da Silva e Silva DF/CCT/UFCG - Campina Grande, PB, Brazil R. Artur Monteiro Viana, 55, Campina Grande, Paraíba, Brasil CEP 58109-140 wiltonps@uol.com.br
- Laporte O.J. 1975. Variaciones del crecimiento y diámetro de la fibra de lana en la

Patagonia Desértica. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Trelew.

- Lauenroth W.K. and Bradford J.B. 2006. Ecohidrology and the partitioning AET between transpiration and evaporation in a semiarid steppe. *Ecosystems*, 9: 756-767.
- Le Houérou H.N., Bingham R.E. and Skerbek W. 1988. The relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands. *Journal of Arid environments*, 13: 1-18.
- Le Houérou H.N. 1959. Recherches ecologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale. 3 vols., mém. h. s. no 6. Alger: Institut de Recherches Sahariennes de l'Université d'Alger. 520 pp.
- Le Houérou H.N. 1996. Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments*, 34: 133-185.
- Le Houérou H.N. and Norwine J.R. 1985. The ecoclimatology of South Texas. In: Whitehead, E.E., Hutchinson C.F., Timmerman B.N. and Varady R.G. (Eds.), *Arid Lands Today and Tomorrow*, 417-443 pp. Boulder, CO: Westview Press. 1435 pp.
- Lee R.Y. 1999. Modeling corn yields in Iowa using time-series analysis of AVHRR data and vegetation phenological metrics. University of Kansas. Thesis (Ph.D.), Geography. 164 pp.
- Liu J., Chen J.M, Cihlar J. and Park W. 2002. Net primary productivity mapped for Canadian at 1-km resolution. *Global Ecology and Biogeography*, 11: 115-129.
- Lobo A. 1997. Image segmentation and discriminant analysis for the identification of land cover units in ecology. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35: 1136-1145.
- Loik M.E., Breshears D.D., Lauenroth W.K. and Belnap J. 2004. A multi-scale perspective of water pulses in dryland ecosystems: climatology and ecohydrology of western USA. *Oecologia*, 141: 269-281.
- Massara Paletto V. 2010. Efecto de la variabilidad interanual de las precipitaciones sobre la productividad primaria neta aérea en una estepa gramínea pastoreada por ovinos. Tesis Magíster. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 70 pp.
- Maselli F., Petkov L., Maracchi G. and Conese C. 1996. Eco-climatic classification of Tuscany through NOAA_AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 2369-2384.
- Medina-García G., Gutierrez-Luna R., Echavarría-Chairez F.G., Amador-Ramirez M.D. y Ruiz-Corral J.A. 2009. Estimación de la producción de forraje con imágenes de satélite en los pastizales de Zacatecas. *Tec. Pecu, México*, 47(2): 135-144.
- Menedín F. y La Torraca A. 2004. Cuaderno de Campo. Proyecto Regional Lana Fina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria. Chubut.
- Mohr Bell D. y Siebert A. 2008. Monitoreo de la sequía en la provincia del Chubut.

Informe de Avance. Área Planificación Territorial, Laboratorio de Percepción Remota y SIG, CIEFAP. Esquel, Chubut.

- Mormeneo, I. y Castellví, F. 2005. a) "ETP_BHC". b) 'ETP_BHS'. Planillas en ambiente Excel, para el cálculo automático de la Evapotranspiración potencial aplicada a los Balances Hídricos Climático y Secuencial. (inéditos).
- Moscovici Vidal L. y Barros V.R. 1981. Incidencia de la precipitación en la producción anual de lana por animal en la región costera de la provincia de Chubut. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro Nacional Patagónico. Puerto Madryn. Chubut.
- Murtha P.A. 1978. Remote sensing and vegetation damage: a theory for detection and assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 44: 1147-1158.
- Myers B.A., Williams R.J., Fordyce I., Duff G.A. and Eamus D. 1998. Does irrigation affect leaf phenology in deciduous and evergreen trees of the savannas of northern Australia?. *Austral Journal Ecology*, 23: 329-339.
- Myneni R.B., Hall F.G., Sellers P.J and Marshak A.L. 1995. The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33: 481-486.
- Nasa. 2000. MODIS. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, National Aeronautics and Space Administration. USA.
- Nightingale J.M. and Phinn S.R. 2001. Relationships between precipitation and satellite-derived vegetation condition within South Australia. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, 1332-1334 pp.
- Noy Meir I. 1973. Desert ecosystems: Environment and producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 25-51.
- Núñez L.N., Gonzalez Morinigo E.C. y Ogdon G. 2010. Evaluación del período 2008-2009 mediante el balance hídrico Servicio Meteorológico Nacional. Actas: XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.
- Núñez N.M., Solman S.A. y Cabré M.F. 2008. Regional climate change experiments over southern South America. II: Climate change scenarios in the late twenty-first century.
- Oosterheld M., DiBella C.M. and Kerdiles H. 1998. Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate of rangelands. *Ecological Applications*, 8(1): 207-212.
- Oliva G., Noy-Meir I. y Cibils A. 2001. Fundamentos de ecología de pastizales. Cap. 3 pp 83-100. En: *Ganadería Ovina Sustentable en la Patagonia Austral*. Borrelli P. y Oliva G. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Regional Patagonia Sur, 272 pp.
- Olivares S.P. and Squeo F.A. 1999. Phenological patterns in shrubs species from coastal desert in north-central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 72: 353-370.
- Pardi H.M. y Asbornio M.D. 2010. Excesos y deficiencias hídricas regionales en La Plata durante la década 2000-2009. Actas de: XIII Reunión Argentina y VI

- Latinoamericana de agrometeorología. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.
- Paruelo J.M. 1991. Principales controles de las pérdidas de agua en la estepa patagónica. Magister Thesis, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 137 pp.
- Paruelo J.M. and Sala O.E. 1995. Water losses in the Patagonian Steppe: a modeling approach. *Ecology*, 76(2): 510-520.
- Paruelo J.M., Aguiar M.R. and Golluscio R.A. 1987. Soil water availability in the Patagonian arid steppe: gravel content effect. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 2: 67-74.
- Paruelo J.M., Epstein H.E., Lauenroth W.K. and Burke I.C. 1997. ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the United States. *Ecology*, 78(3): 953-958.
- Paruelo J.M., Beltrán A., Jobbágy E., Sala O.E. and Golluscio R.A. 1998. The climate of Patagonia : general patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral* : 8 : 85-101.
- Paruelo J.M., Oesterheld M. y Grigera G. 2005. Evaluación de recursos forrajeros mediante sensores remotos. Claves para una ganadería rentable y sustentable en un escenario productivo diferente. Seminario Técnico Forrajes, 2005.
- Paruelo J.M., Oesterheld M., DiBella C.M., Arzadum M., Lafontaine J., Cahuepé M. and Rebella C.M. 2000. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. *Applied Vegetation Science*, 3: 189-195.
- Penning P.D., Hooper G.E. and Treacher T.T. 1986. The effect of herbage allowance on intake and performance of ewes suckling twin lambs. *Grass and Forage Science*, 41: 199-208.
- Peñuelas J., Gordon C., Llorens L., *et al.* 2004. Nonintrusive Field Experiments Show Different Plant Responses to Warming and Drought Among Sites, Seasons, and Species in a North–South European Gradient. *Ecosystems*, 7: 598-612.
- Pereyra J.A. y Abadie C.A. 1965. Las lluvias en el oeste del Chubut. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Agencia de Extensión Agropecuaria Esquel.
- Pizzio R.M. y Royo Pallarés O. 1999. Jornada de Actualización en Forrajas Subtropicales. Mercedes, Corrientes. Noviembre, 1999.
- Posse G. and Cingolani A.M. 2000. Environmental controls of NDVI and sheep production in the Tierra del Fuego steppe of Argentina. *Applied Vegetation Science*, 3: 253-260.
- Posse G. and Cingolani A.M. 2004. A test of the use of NDVI data to predict secondary productivity. *Applied Vegetation Science*, 7: 201-208.
- Prohaska F. 1952. Regímenes estacionales de precipitación de Sudamérica y mares vecinos. *Meteoros*, 2: 66-100.
- Ratray P.V. and Jagusch K.T. 1978. Pasture allowances for the breeding ewe. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 38: 1212-1216.
- Reynolds J.F., Fernandez R.J. and Kemp P.R. 1999. Drylands and global change:

- rainfall variability and sustainable rangeland production. Proceedings of the 12th Toyota Conference: Challenge of plant and agricultural sciences to the crisis of biosphere on the earth in the 21st Century. Ed. By Kazuo Watanabe and Atsushi Komamine: 73-86.
- Reynolds J.F., Kemp P.R. and Tenhunen J.D. 2000. Effects of long-term rainfall variability on evapotranspiration and soil water distribution in the Chihuahuan Desert: a modeling analysis. *Plant Ecology*, 150: 145-159.
- Rietkerk M., van den Bosch F. and van de Koppel J. 1997. Site-specific properties and irreversible vegetation changes in semi-arid grazing systems. *Oikos*, 80: 241-252.
- Rivero M.M. 1981. Rachas de precipitación escasa en la zona árida de Chubut. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Puerto Madryn, Chubut. *Revista Geofísica*, 16: 24-39.
- Rivero M.M. 1983. Variación estacional de la precipitación en la provincia del Chubut. Centro Nacional Patagónico. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Puerto Madryn, Chubut.
- Rodriguez Sáenz A.J. 1973. Evaporación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Suelos, Tirada interna N°58, Buenos Aires, Argentina.
- Rodriguez-Iturbe I., Porporato A., Ridolfi L., Isham V. and Cox D.R. 1999. Probabilistic modeling of water balance at a point: the role of climate, soil and vegetation. *Proceedings the Royal Society A.*, 455: 3789-3805.
- Rotondo V.H. 2004. Evaluación de índices de sequías agrometeorológicas en el sur de la provincia de Córdoba. Tesis Magister. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina, 165 pp.
- Roy, D. P., Borak J. S., Devadiga S., Wolfe R. E., Zheng M. and Descloitres J. 2002. The MODIS Land product quality assessment approach. *Remote Sensing of Environment*, 83: 62-76.
- Sala O.E., Golluscio R.A., Lauenroth W.K. and Soriano A. 1989. Resource partitioning between shrubs and grasses in the Patagonian steppe. *Oecologia*, 81: 501-505.
- Salazar Lea Plaza J. y Godagnone R. 1990. Provincia de Santa Cruz. Escala 1:1.000.000. En: Atlas de suelos de la Republica Argentina. INTA. Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca, Buenos Aires.
- Santoni C S., Jobbagy E G., Marchesini V y Contreras S. 2008. Diferentes usos del suelo: consecuencias sobre el balance hídrico y drenaje profundo en zonas semiáridas. Actas: XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis, Argentina.
- Scanlon B.R., Reedy R.C, Stonestrom D.A., Prudic D.E. and Dennehy K.F. 2005. Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. *Global Change Biology*, 11: 1577-1593.
- Scian B. y Mattio H. 1975. Aplicación del método de Thornthwaite para el cálculo del balance hídrico en la Provincia del Chubut. Informe interno. Comisión Nacional de Estudios Geo-heliofísicos. Centro Nacional Patagónico. Puerto Madryn,

Chubut, Argentina.

- Scolaro J.A. 1973. Análisis preliminar del uso de la tierra en la Península de Valdés. Informe Interno. Comisión Nacional de Estudios Geo-Heliofísicos. Centro Nacional Patagónico. Puerto Madryn, Chubut.
- Seghieri J., Floret C. and Pontanier R. 1995. Plant phenology in relation to water availability: herbaceous and woody species in the savannas of northern Cameroon. *Journal Tropical Ecology*, 11: 237-254.
- Seleska S.R., Didan K., Huete A.R. and Da Rocha H.R. 2007. Amazon forests green-up during 2005 drought. *Science*, 20 September 2007, Vol 318 no. 5850 p. 612, DOI: 10.1126/science.1146663.
- Sellers P.J. 1989. Vegetation-Canopy Spectral reflectance and Biophysical Processes. En: *Theory and Applications of Optical Remote Sensing* (editado por G. Asrar). Nueva York, Wiley: 297-335 pp.
- Serna P.A., Rubio A.F.A. y Echavaria C.F.G. 2004. Áreas de exclusión: una opción para la rehabilitación y conservación de los pastizales. Instituto Nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias. Centro de investigación regional norte centro. Campo experimental Zacateca. (Folleto para productores N°27).
- Sharon D. 1972. The spottiness of rainfall in a desert area. *Journal of Hydrology*, 17: 161-175.
- Stoddart L. and Smith A.D. 1943. *Range Management*. Mc Graw-Hill. New York.
- Strahler A.N. 1987. *Geología Física*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- Texteira M. y Paruelo J.M. 2010. Demografía y dinámica poblacional de las majadas. Proyecto Regional de Tecnología Agropecuaria FONTAGRO. Publicado en internet, disponible en <http://www.agro.uba.ar/users/lart/senalada>. Activo mayo 2011.
- Thorntwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Reprinted from *The Geographical Review*, 38(1): 55-94.
- Tucker C.J., Newcomb W.W. and Dregne H.E. 1994. AVHRR data sets for determination of desert spatial extent. *International Journal of Remote Sensing*, 15: 3647-3565.
- U.S. Geological Survey. 2008. MODIS Reprojection Tool v4.0 Software: https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/tools/modis_reprojection_tool
- Walter H. and Box E. 1983. Climate of deserts and semideserts of Patagonia. En: N. West (Ed.) *Ecosystems of the World*, 5: 432-435. Elsevier. Amsterdam.
- Wang J., Price K.P. and Rich P. 2001. Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, 22(8): 3827-3844.
- Westoby M., Walker B. and Noy Meir I. 1989. Opportunistic management for rangelands not at equilibrium". *J. Range Manage* 45:266-277.

- Whelan M.B. , Geenty K.G. , Cottle D.J. , Lamb D.T. and Donald G.E. 2008. The relationship between a satellite derived vegetation index and wool fiber diameter profiles. School of Environmental Science and Management, 1-4 pp.
- Wijnhoud S. y Sourrouile E. 1972. Suelos del área Río Gallegos-Río Turbio. Proyecto FAO-INTA (inédito), Bariloche, Rio Negro.
- Wikipedia. 2011. Clima. Publicado en internet, disponible en <http://www.es.wikipedia.org/wiki/clima>. Activo noviembre 2011.
- Wilcox B.P., Seyfried M.S. and Breshears D.D. 2003. The water balance on rangelands. En: Encyclopedia of Water Science, Stewart B.A., Howell T.A. (eds.). Marcel Dekker, New York, 791-794 pp.
- Xulin G. and Pierrot R. 2004. Assessing Canadian prairie drought with satellite and climate data. Environmental Informatics Archives, Volume 2: 422-430.
- Xulin G., Wei G., Pierrot R., Yunpei L., Younfei Z. and Elise P. 2004. Canadian prairie drought assessment through MODIS vegetation indices. Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability. Proceedings of SPIE Vol. 5544:149-158.
- Yang L., Wylie B.K., Tieszen L.L. and Reed B.C. 1998. An analysis of relationships among climate forcing and time-integrated NDVI of grassland over the U.S. Northern and Central Great Plains. Remote Sensing of Environment, 65: 25.37.

ANEXO I

DESCRIPCIÓN AGROECOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

DESCRIPCIÓN AGROECOLÓGICA

Las áreas agroecológicas intentan agrupar territorios que presentan una combinación particular de suelos, clima y vegetación. Si bien los mismos no son homogéneos, desde una visión regional puede esperarse que establecimientos ubicados dentro de una misma área presenten características productivas y problemáticas similares. La clasificación propuesta se basa en trabajos preexistentes. Entre ellos se destaca la delimitación de Distritos Florísticos realizada por Alberto Soriano (1956) y la de Regiones Ecológicas de Juan Anchorena (1978) (Figura 1).

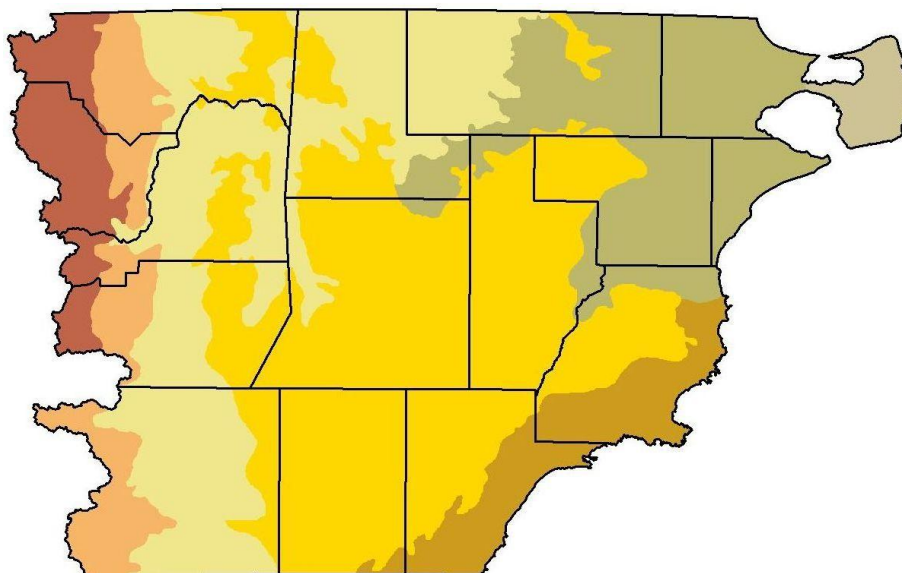


Figura 1. Áreas agroecológicas homogéneas de la provincia de Chubut. ■ Complejo Andino; ■ Estepas Subandinas; ■ Sierras, Mesetas Occidentales; ■ Sierras, Mesetas y Planicies Centrales; ■ Monte Austral; ■ Golfo San Jorge y Camarones; ■ Península Valdés.

REGIÓN DEL GOLFO

Se extiende desde las altiplanicies que circundan el Golfo de San Jorge, a las mesetas de Montemayor y Pampa del Castillo. Incluyen las laderas, los valles y áreas

colinadas que se intercalan entre éstas y el mar. El promedio de las precipitaciones supera los 200 mm y son frecuentes las nevadas en la zona más altas de las mesetas. Las estepas arbustivas altas (matorrales) que lo caracterizan se ubican en las laderas que descienden al mar y en las áreas colinadas. En las áreas planas o pampas, arriba de 700 m snm al SW del Pico Salamanca, se encuentran las estepas graminoso-arbustivas.

Las estepas arbustivas altas o matorrales más conspicuos son de dos tipos (Foto 1). Ambos tienen como dominantes en el estrato herbáceo a *Stipa humilis* (coirón llama) y a *Stipa speciosa* (coirón amargo), y como leñosa dominante *Colliguaya integerrima* (duraznillo). En el primer tipo esta especie se asocia a *Senecio filaginoides* (charcao), *Grindelia chilensis*, *Baccharis darwinii*, *Perezia recurvata ssp. beckii* y *Nassauvia ulicina*, no superando los 80 cm de altura. Este matorral uniestratificado y abierto tiene como acompañantes en el estrato herbáceo a *Poa lanuginosa* (pasto hilo), *Phacelia magellanica*, *Mutisia retrorsa*. Se ubica en las laderas expuestas al N de la vertiente oriental de las mesetas, que son las menos húmedas. Este matorral también cubre las laderas occidentales de las mesetas que limitan con el Distrito Central en su nivel inferior. En su porción más alta, estas laderas presentan un matorral abierto de *Anarthrophyllum rigidum* (mata guanaco) con *Senecio filaginoides* y *Mulinum spinosum* (neneo) y un estrato herbáceo parecido al del pastizal de la altiplanicie.

En el segundo tipo, los individuos de *Colliguaya* alcanzan una altura media entre 2 y 3m, y alternan con *Trevoa patagonica* (malaespina). Este matorral tiene individuos dispersos de *Acantholippia seriphoides* (tomillo) y de *Acaena platyacantha* y como codominante *Senecio bracteolatum*, en el estrato inferior. Las acompañantes del estrato herbáceo son *Festuca argentina* (hucú), *Stipa neaei* (coirón llama), *Phacelia magellanica*, y *Erodium cicutarium* (alfilerillo). Probablemente sea ésta la comunidad más productiva del distrito pues se ubica en las laderas de exposición al sur de los valles (cañadones) de la vertiente oriental de las mesetas es decir en los ambientes con balance hídrico menos limitante.

Se observan algunos elementos de la Provincia del Monte que en esta área tienen su distribución más austral como *Stipa tenuis* (flechilla) entre las gramíneas y *Prosopis denudans* (algarrobo patagónico) entre los arbustos. Larrea también está presente en este

distrito, con una especie leñosa y enana con sus ramas adosadas al suelo: *L. ameghinoi* (jarilla rastrera). Otra característica de los pastizales de este distrito son las plantas en cojín: *Benthamiella patagonica*, *Brachyclados caespitosum*, *Mulinum microphyllum*, *Cruckshanksia glacialis*.

La estepa gramíneo-arbustiva tiene 0,25 a 0,40 m de altura y una cobertura que puede alcanzar el 80%. Está dominada por las gramíneas cespitosas *Festuca pallescens* y *F. argentina*, por los arbustos *Senecio filaginoides*, *Nardophyllum obtusifolium*, *Mulinum spinosum*, *Adesmia campestris* (mamuel choique) y por los subarbustos *Junellia thymifolia* y *Acaena platyacantha*. Como acompañantes importantes se ha señalado: *Nassauvia darwinii*, *Mulinum halei*, *Perezia patagonica*, *Adesmia lotoides* y especies de *Azorella*. Esta fisonomía se presenta con gran uniformidad y sólo es interrumpida por matorrales bajos de *Junellia tridens* (mata negra) asociados a las leves depresiones de la altiplanicie, que aunque frecuentes son de escasa importancia en cuanto a superficie ocupada.



Foto 1. Estepa arbustiva alta o matorrales.

MONTE AUSTRAL

Corresponde a la porción más austral de Provincia Fitogeográfica del Monte que se extiende desde Salta hasta la costa atlántica del Chubut. En su territorio las precipitaciones son inferiores a los 200 mm anuales y la temperatura media anual es superior a los 13 °C.

Ocupa el sector NE de la provincia del Chubut sobre planicies y mesetas sedimentarias bajas presentando bajos sin salida y cerros aislados. Está definida por matorrales donde predominan las jarillas (*Larrea divaricata*, *L. nítida* y *L. cuneifolia*) (Foto 2), que determinan la fisonomía de sus comunidades. Junto a estas, las especies más frecuentes en las comunidades corresponden a los géneros *Prosopis* (*P. alpataco*, *P. flexuosa* y *P. denudans*), *Lycium*, *Chuquiraga*, *Ephedra*, *Gutierrezia*, *Junellia*, *Baccharis*. A estas se agregan *Prosopidastrum globosum*, *Monthea aphylla* (mata cebo), *Bougainvillea spinosa* (mata brasilera), *Schinus johnstonii* (molle) y *Ciclolepis genistoides* (palo azul). El estrato de subarbustos está formado por *Cassia aphylla* (pichana), *Acantholycopia seriphioides* (tomillo), *Perezia recurvata*, entre otras. Las hierbas más comunes son *Plantago patagonica*, *Boopis anthemoides* y varias sp. de Hoffmannseguia. Las gramíneas más frecuentes son *Stipa tenuis* (flechilla), *Stipa speciosa* (coirón amargo), *S. neaei* (coirón pluma) , *Poa ligularis* (coirón poa) y *P. lanuginosa* (pasto hilo) entre las perennes y *Schismus barbatus*, *Bromus tectorum* y *Vulpia sp.* entre las anuales. Los bajos endorreicos presentan especies halófitas como *Atriplex lampa* (zampa), *Suaeda divaricata* (jume) y *Ciclolepis genistoides*, especialmente en los ambientes con mayor salinidad-alcalinidad. En el extremo sur se suman a la lista *Chuquiraga avellaneda* (quilembay) y *Ch. histrix* (uña de gato).



Foto 2: Matorral abierto de jarilla (*Larrea divaricata*).

SIERRAS Y MESETAS OCCIDENTALES

Constituye un área de sierras, pedimentos mesetiformes y mesetas basálticas. El clima es árido y frío con precipitaciones entre 150 y 300 mm concentradas entre otoño e invierno. La temperatura anual media es de 8 a 10 °C.

Predomina una estepa arbustivo-graminosa, con arbustos cuyas alturas oscilan entre los 60 cm a 180 cm y con una cobertura total aproximada del 50% (Foto 3). Florísticamente los elementos más importantes son: *Mulinum spinosum* (neneo), *Stipa speciosa* (coirón amargo), *Adesmia campestris* (mamuel choique), *Berberis heterophylla* (calafate), *Senecio filaginoides* (charcao o mata mora), *Stipa humilis* (coirón llama) y *Poa lanuginosa* (coirón poa). La mayor parte de la cobertura vegetal corresponde a gramíneas, localmente conocidas como "coirones" por lo que también ha sido denominada "pastizal de coirón amargo".

Además de las nombradas, otras especies son importantes en la comunidad por su constancia o su cobertura. Entre los arbustos: *Ephedra frustillata* (sulupe fino), *Lycium chilense* (yaoyín) y *Schinus polygamus* (molle). Entre los pastos: *Bromus setifolius* (cebadilla patagónica), *Hordeum comosum* (cebada patagónica), *Poa*

lanuginosa (pasto hilo) y *Carex sp.* (coironcito) y entre las hierbas: *Adesmia lotoides*, *Perezia recurvata*, *Oenothera contorta*, *Doniophyton patagonicum*.

La estepa arbustiva descripta se enriquece en ciertos ambientes con poblaciones densas de *Nassauvia axillaris*, *Anarthrophyllum rigidum* (mata guanaco), *Junellia ligustrina*, siempre muy ramoneada, de *Corynabutilon bicolor* (monte moro) y *Nardophyllum obtusifolium* (mata torcida). En los sectores más altos del área suelen desarrollarse estepas gramíneas de *Festuca pallescens* (coirón blanco), *F. argentina* (hucú) y *Poa ligularis* (coirón poa) como por ejemplo en meseta de Somuncurá.

En matorrales ubicados por sobre los 900 msnm al NW de Chubut, *Colliguaya integerrima* (duraznillo) y *Trevoa patagonica* (malaspina), se comportan a veces como dominantes junto a *Stillingia patagonica* (mata perro), *Nassauvia axillaris* (uña de gato), *Corynabutilon bicolor* (monte moro), *Tetraglochin ameghinoi*, *Nardophyllum parvifolium*, *Fabiana pecki*, *Grindelia chiloensis*, etc.

Las estepas arbustivo-gramíneas, a veces alternan con un erial o estepa arbustiva achaparrada con escasa cobertura. Los stands de estas fisonomías aumentan en superficie hacia el E del distrito y se ubican en áreas reducidas asociadas a ciertas posiciones topográficas como bordes de terrazas, crestas de lomadas, y en planicies extensas con pavimentos de erosión o también asociadas a suelos muy arcillosos en superficie, producto de la pérdida de los horizontes superficiales (Paleoargides). En ellas son dominantes *Nassauvia glomerulosa* (colapiche) y *Nassauvia ulicina*, ambos arbustos muy bajos con hojas poco conspicuas.

En el área son importantes los mallines o praderas húmedas. Estos son dulces en los sectores superiores de las cuencas (con *Festuca pallescens* - coirón dulce - y *Juncus balticus* - junco-) y salinos en los sectores inferiores (con *Distichlis sp.* - pasto salado o pelo de chanco).



Foto 3. Estepa arbustiva graminosa.

CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN

En el trabajo realizado de Sistema de Soporte de Decisiones (Elissalde *et al.*, 2002) se elaboró un mapa de precipitación del área costera de la zona Camarones con información extraída del Informe Final del Plan de Trabajo “Relevamiento y Estudio del Régimen Climático de la Provincia del Chubut” de Arbuniés, (1998).

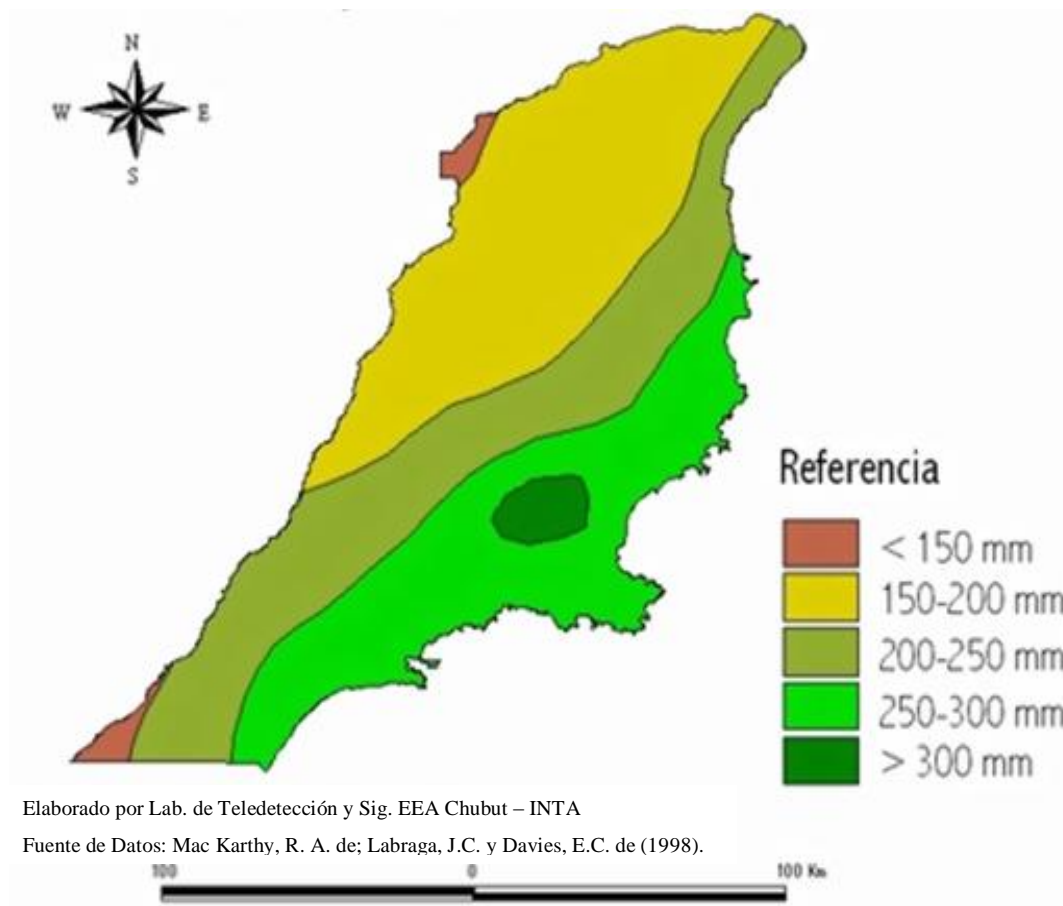


Figura 2: Precipitación media anual por rangos de 50 mm para el área costera de Camarones.

Debido a la influencia atlántica, se manifiesta una disminución de las precipitaciones desde la zona costera, con precipitaciones medias entre 250 y 300 mm, y hacia la zona central con precipitaciones que no superan los 150 mm. Una particularidad de la franja más alta (mesetas, terrazas y lomadas), son las nevadas que se producen frecuentemente en la época invernal, principalmente en la zona de Malaspina, Pampa de Salamanca y Pampa del Castillo.

Los vientos predominantes y los más fuertes, son los que provienen del sector oeste y sudoeste y las mayores intensidades medias se registran en la época primavero-estival.

Caracterización fisiográfica de la zona Camarones

En el presente trabajo se utilizará, a escala regional, la caracterización fisiográfica definida por Beeskow *et al.*, (1987), el cual diferencia cuatro unidades de paisaje; el Área Costera, Pedimento Mesetiforme, Relieve de Erosión del grupo Chubut y Depresiones de la Meseta de Montemayor (Elissalde *et al.*, 2002) (Figura 3).

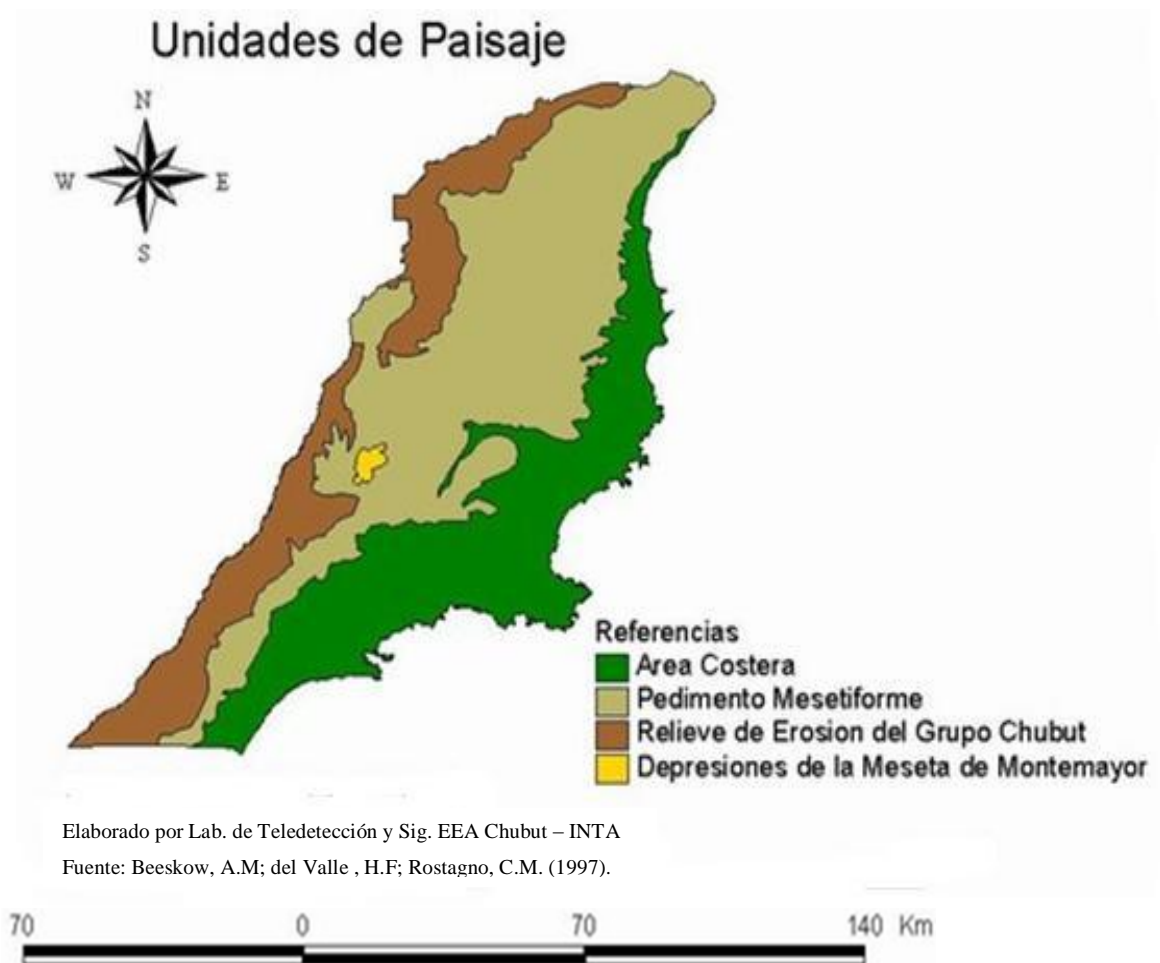


Figura 3: Unidades de paisaje para el área costera de Camarones.

Pedimentos Mesetiformes: la mayor proporción del área corresponde a extensas mesetas (Montemayor y Malaspina) que se elevan desde los 200 m sobre el nivel del mar en su parte norte, en el límite con el valle del Río Chubut, hasta 600 m en

su extremo sur (Pico Salamanca). El relieve de estas mesetas es levemente ondulado presentando pequeñas cuencas cerradas, que en muchos casos dan lugar a lagunas temporarias. Sobresalen algunos cerros aislados de baja altura pertenecientes al complejo volcánico (Monte Triste, Chato, Monte Triste Chico, Salpú y Santa Magdalena). En la extensa superficie de la meseta de Montemayor predominan las estepas arbustivas bajas (Foto 4 y 5), con coberturas entre 30 y 60 %, cuya especie característica es el quilembay (*Chuquiraga avellanadae*) que puede estar acompañada por arbustos altos (hasta 1,5 m) como mata mora (*Nardophillum chilotricoides*), mata laguna (*Lycium ameghinoi*), yaoyín (*L. chilense*), verbena (*Junellia ligustrina*) y mata brasilera (*Boungavillea spinosa*). Las especies características del estrato subarborescente (15 – 10 cm) son cola de piche (*Nassauvia glomerulosa*), mancaperro (*Nassauvia ulicina*), falso tomillo (*Frankenia patagónica*), las cuales también pueden encontrarse como dominantes en los denominados eriales o peladales en los ambientes más xéricos, ya sea por características naturales del paisaje o por ser sectores sometidos a procesos intensos de erosión (Foto 6).

Las principales especies forrajeras de la zona entre las herbáceas son el coirón poa (*Poa ligularis*), cuya abundancia es un indicador de la calidad de los campos de pastoreo; la flechilla (*Stipa tenuis*), especialmente en los sectores más cercanos a la costa; el pasto hebra (*Poa lanuginosa*), en los suelos de textura arenosa; el coirón duro (*Stipa speciosa*), especie de preferencia intermedia pero de mayor abundancia que las anteriores. Entre las arbustivas de valor forrajero se destacan el yaoyín (*L. chilense*), la verbena (*J. ligustrina*) y el sulupe (*Ephedra ochreatea*).



Foto 4: Estepas arbustivas bajas, dominadas por quilembay (*Chuquiraga avellanedae*).



Foto 5: Matorral abierto de mata laguna (*Lycium ameghinoi*).



Foto 6: Pavimento de erosión con baja cobertura de pastos y subarbustos.

Área Costera: se extiende entre el borde de las mesetas y la línea de costa, presentando un relieve más abrupto. El desnivel entre las mesetas orientales y el mar, está surcado por cañadones que temporariamente llevan agua. Se trata de un relieve de valles muy angostos, lomadas y cerros aislados que anticipan el ambiente marítimo, tal el caso de los cañadones Andaluz, Toro Lerdo, del Paisano, de los Vascos, de los Guanacos, de las Lajas, Salado, Davies, entre otros. Completan esta unidad lomadas rocosas y serranías bajas del complejo porfirítico. Se destacan los pastos como la flechilla (*Stipa tenuis*) y arbustos como el algarrobo patagónico (*Prosopis denudans*). Las unidades fisonómicas varían desde los matorrales cerrados en laderas de exposición sur y fondos de cañadones a los peladales de especies subarbusivas con muy bajas coberturas (inferiores al 10 %). Las más comunes son las estepas arbustivas de altura media con estratos de herbáceas y subarbustos con coberturas entre el 40 y 60 %. Las herbáceas pueden alcanzar una mayor importancia especialmente hacia el sur del área o en cercanía de la costa formando estepas arbustivo-herbáceas o herbácea- arbustivas. En el estrato herbáceo aparecen como dominantes los coirones duros (*Stipa speciosa*) y amargos (*Stipa humilis*) (Foto 7 y 8). En las áreas con mayor disponibilidad de humedad aparece la malaespina (*Retanilla patagónica*) como codominante junto al duraznillo (*Coliguaya integerrima*). Además de los mencionados hay que destacar entre los arbustos que pueden alcanzar un porte de 2 a 3 m de altura al algarrobo patagónico (*Prosopis sp.*), el molle (*Schinus johnstonii*) y la barba de chivo (*Prosopidastrum*

globosum), todos ellos de gran importancia ecológica como protectores del suelo, del ganado y la fauna (Elissalde *et al.*, 2002).



Foto 7: Estepa arbustiva herbácea de duraznillo (*Coliguaya integerrima*) y flechilla (*Stipa tenuis*).



Foto 8: Laderas y cañadones costeros. Estepa herbácea de flechilla (*Stipa tenuis*) con arbustos.

Relieve de Erosión del Grupo Chubut: hacia el norte y oeste la continuidad de las mesetas se interrumpe descendiendo la pendiente hacia los Ríos Chico y Chubut. Aparecen niveles aterrazados, lomadas, cañadones y abruptas escarpas de más de 70 m que conforman paisajes casi totalmente desprovistos de vegetación ("bad-lands") (Foto 9). La heterogeneidad del paisaje generada por el relieve también se refleja en las comunidades vegetales. Alcanzan una gran proporción las estepas y peladales subarbustivos dominados por cola de piche (*Nassauvia glomerulosa*) y manca perro (*N. ulicina*) (Foto 10). Las estepas arbustivas de quilembay (*Ch. avellanadae*) y mata mora (*N. chilotricoides*) también están bien representadas en esta unidad (Foto 11). En los fondos de cañadones y en las márgenes del Río Chico se presentan matorrales con arbustos altos como molle (*S. johnstonii*), mata laguna (*L. ameghinoi*), zampa (*Atriplex lampa*), barba de chivo (*P. globosum*), etc.



Foto 9: Laderas con escasa cobertura vegetal "bad-lands".



Foto 10: Estepas y peladales subarbustivos dominados por cola de piche (*Nassauvia glomerulosa*) y manca perro (*N. ulicina*).



Foto 11: Estepa arbustiva de quilembay (*Chuquiraga avellanadae*)

Depresión de la Meseta de Montemayor: bajo sin salida con pendiente suave ubicado en el área sudoeste de la Meseta de Montemayor que presenta un fondo de laguna temporaria (playa). La vegetación esta compuesta por peladales y estepas arbustivas de zampa (*A. lamapa*), quilembay (*Ch. avellanadae*), mata laguna (*L.*

ameghinoii), falso tomillo (*F. patagonica*) y manca perro (*N. ulicina*). Presenta áreas escarpadas desprovistas de vegetación (Foto 12).



Foto 12: Depresión con áreas de peladales.

ANEXO II

ESTADÍSTICOS ASOCIADOS

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y los bimestres del EVI para el Grupo 1; período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones significativas obtenidas con distinto nivel de significancia y en negrita y rojo las correlaciones más altas para cada variable, con un nivel de significancia de $p < 0,001$.

EVI	Carga (cab/ha)	Lana (kg/ani)	Lana (kg/ha)	Señalada (%)	Rinde al peine (%)	Finura (micras)
Sep-Oct (previo)	0,43	0,60	0,66	0,20	0,48	0,40
Nov-Dic (previo)	0,20	0,37	0,44	-0,07	0,42	0,34
Ene-Feb	0,18	0,66	0,58	0,21	0,45	0,52
Mar-Abr	0,06	0,73	0,54	0,41	0,33	0,60
May-Jun	0,06	0,69	0,51	0,47	0,16	0,51
Jul-Ago	0,06	0,60	0,49	0,50	0,09	0,39

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y los bimestres del EVI para el Grupo 2; período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones significativas obtenidas con distinto nivel de significancia y en negrita y rojo las correlaciones más altas para cada variable, con un nivel de significancia de $p < 0,001$.

EVI	Carga (cab/ha)	Lana (kg/ani)	Lana (kg/ha)	Señalada (%)	Rinde al peine (%)	Finura (micras)
Sep-Oct (previo)	0,35	0,41	0,51	0,12	0,56	0,45
Nov-Dic (previo)	0,35	0,36	0,47	0,14	0,44	0,54
Ene-Feb	0,23	0,60	0,56	0,32	0,46	0,62
Mar-Abr	0,23	0,64	0,60	0,45	0,39	0,65
May-Jun	0,27	0,56	0,58	0,49	0,45	0,52
Jul-Ago	0,26	0,47	0,52	0,51	0,49	0,32

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson (R) entre los índices productivos y los bimestres del EVI para el Grupo 3; período 2000-2008. En negrita se muestran las correlaciones significativas obtenidas con distinto nivel de significancia y en negrita y rojo las correlaciones más altas para cada variable, con un nivel de significancia de $p < 0,001$.

EVI	Carga (cab/ha)	Lana (kg/ani)	Lana (kg/ha)	Señalada (%)	Rinde al peine (%)	Finura (micras)
Sep-Oct (previo)	0,75	0,11	0,75	0,56	0,36	0,18
Nov-Dic (previo)	0,66	0,22	0,70	0,53	0,38	0,36
Ene-Feb	0,63	0,29	0,70	0,55	0,38	0,41
Mar-Abr	0,53	0,48	0,67	0,52	0,28	0,50
May-Jun	0,48	0,42	0,59	0,51	0,28	0,48
Jul-Ago	0,59	0,35	0,68	0,65	0,24	0,34

Tabla 4. Precipitaciones (mm) medias mensuales para el período 2000-2008, para los nueve establecimientos del área de estudio.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2000	46,0	40,0	23,5	27,0	41,2	81,0	97,0	17,0	149,0	7,5	43,4	0,7
2001	8,0	18,0	43,0	35,5	21,0	22,5	47,1	16,5	28,5	19,8	8,0	24,8
2002	27,2	9,9	23,8	6,5	113,9	45,5	9,0	137,0	124,0	24,0	33,6	3,0
2003	16,0	103,9	54,0	15,0	83,7	39,2	16,5	22,0	13,8	23,0	8,0	25,0
2004	16,0	18,0	6,5	54,0	32,0	15,5	68,5	35,0	31,0	13,5	19,8	3,5
2005	27,0	150,0	19,0	49,5	82,0	159,2	40,0	31,7	11,0	15,5	34,3	80,0
2006	33,2	15,3	11,4	11,3	14,4	33,8	32,6	55,6	11,7	50,5	11,8	4,0
2007	32,0	37,2	55,0	31,0	93,0	34,3	13,0	20,0	64,0	6,5	51,0	24,5
2008	51,0	2,0	30,0	67,0	83,0	9,0	30,0	17,6	70,0	7,0	59,0	41,0