



DEPARTAMENTO DE AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

DOCTOR EN AGRONOMÍA

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL SOBRE LAS
PRECIPITACIONES DEL SUDOESTE BONAERENSE
SEMIÁRIDO Y SU EFECTO SOBRE EL RIESGO DE SISTEMAS
GANADEROS CON DISTINTO GRADO DE ADOPCIÓN DE
TECNOLOGÍA

Ing. Agr. (Mg.) Carlos A. Torres Carbonell

Directores: Dr. Fernando Tohmé

Dra. Beatriz Scian


BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2014

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Agronomía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito de los Departamentos de Agronomía y Economía de la Universidad Nacional del Sur, entre el año 2009 y 2013, bajo la dirección del Profesor Titular, Lic. Matemáticas y Dr. Fernando Tohmé, del Departamento de Economía e Investigador Principal del CONICET y la Investigadora Independiente del CONICET, Dra. Beatriz Scian del Departamento de Agronomía.

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR Secretaría General de Posgrado y Educación Continua</p> <p>La presente tesis ha sido aprobada el .../.../..... , mereciendo la calificación de(.....)</p>
--	---

Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.

Firma del Director

AGRADECIMIENTOS

A mi Esposa, Hijos y Familia.

A mis Amigos y Compañeros de Trabajo.

A mi Director y Co-Directora de Tesis.

A todos ellos un enorme Gracias por el apoyo de cada uno.

ÍNDICE TEMÁTICO

PREFACIO.	ii
AGRADECIMIENTOS.	iii
ÍNDICE TEMÁTICO.	iv
ABREVIATURAS.	vii
ÍNDICE DE TABLAS.	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.	xi
RESUMEN.	xviii
SUMMARY.	xx
1. INTRODUCCION.	1
1.1. Descripción del problema.	1
1.2. Antecedentes generales sobre el tema.	1
1.2.1. El efecto de la variabilidad de la precipitación sobre la producción agropecuaria de secano.	1
1.2.2. El análisis de riesgo.	3
1.2.3. La modelización aplicada a las ciencias agropecuarias.	5
1.2.4. El fenómeno de cambio climático global.	8
1.3. Descripción del área de estudio.	13
1.4. Objetivo General.	15
1.5. Hipótesis y objetivos específicos.	15
1.5.1. Cuantificación de las distribuciones de probabilidad de ocurrencia de la precipitación y su variabilidad espacial dentro del área de estudio.	15
1.5.2. Evaluación de efectos del cambio climático global en la distribución de la precipitación en la zona de estudio.	17
1.5.3. Estudio del riesgo productivo y económico de los sistemas ganaderos del área.	21
2. MATERIALES Y MÉTODOS	26
2.1. Metodologías para validar la hipótesis 1.	26
2.1.1. Datos y sitios de registro utilizados.	26
2.1.2. Determinación de las funciones densidad de probabilidad de la precipitación acumulada estacional y anual.	27
2.1.3. Normalización y estandarización de la precipitación para el estudio de anomalías.	29
2.1.4. Diseño del experimento y análisis estadístico.	30
2.1.5. Regionalización de los sitios por análisis de conglomerados.	31
2.2. Metodología para validar la hipótesis 2.	31

2.2.1. Estudio del impacto del cambio climático global sobre la distribución de la precipitación histórica de la región: definición de la serie temporal y los periodos de contraste.	31
2.2.2. Estudio prospectivo de prospectiva futura de la evolución del cambio climático global y sus efectos sobre la precipitación de la región: metodología de pronóstico, modelos utilizados y base de datos.	32
2.2.3. Validación del ensamble.	34
2.2.4. Diseño del experimento y análisis estadístico.	34
2.3. Metodología para validar la hipótesis 3.	35
2.3.1 Diseño del modelo bioeconómico.	35
2.3.2. Programa principal.	35
2.3.3. Base de datos de entrada.	36
2.3.4. Subrutinas dinámicas.	36
2.3.5. Archivo de resultados.	51
2.3.6. Descripción matemática del funcionamiento del modelo MBBCR.	51
2.3.7. Definición de los sistemas tecnológicos bajo estudio.	55
2.3.8. Validación del modelo.	60
2.3.9. Diseño del experimento y análisis estadístico.	60
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	61
3.1. Resultados obtenidos para validar la hipótesis 1.	61
3.1.1. Análisis de variabilidad de la precipitación anual y su tendencia.	61
3.1.2 Análisis de la variabilidad de la precipitación estacional y su tendencia.	66
3.1.3 Estudio de anomalías de la precipitación a través del Índice de Precipitación Estandarizado.	73
3.1.4 Asociación de zonas progresivamente homogéneas respecto al riesgo de la precipitación.	75
3.2. Resultados obtenidos para validar la hipótesis 2	77
3.2.1. Evidencias de incidencia del cambio climático en la distribución de la precipitación en el clima presente de la zona de estudio.	77
3.2.2. Prospectiva de la incidencia del cambio climático sobre la distribución de la precipitación hasta 2050 en la zona de estudio.	84

3.3. Resultados obtenidos para validar la hipótesis 3	
3.3.1. Relación de la precipitación estacional con la PPN de los recursos forrajeros en el territorio de estudio.	95
3.3.2. Validación del modelo Bio-Económico MBBCR.	96
3.3.3. Variables de Resultado:	101
3.3.3.1. Análisis del riesgo productivo:	105
3.3.3.2. Análisis del riesgo económico.	105
3.3.3.3. Relación entre la PCN y el MB.	110
3.3.4. Análisis de las variables del proceso productivo primario (recursos forrajeros).	114
3.3.4.1. <i>Stipa tenuissima</i> .	115
3.3.4.2. <i>Thinopyrum ponticum</i> (Podp.) (Syn. <i>Agropyron elongatum</i> , <i>Elymus elongatum</i> Host) cv. Tobiano INTA	115
3.3.4.3. <i>Avena sativa</i> cv Cristal.	118
3.3.4.4. <i>Eragrostis curvula</i> (Schrad) Nees cv Tanganyika.	122
3.3.4.5. Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701.	126
3.3.4.6. PPN anual de la Superficie ganadera total.	133
3.3.5. Análisis de las variables del proceso productivo secundario.	137
3.3.5.1. Tasa de preñez.	141
3.3.5.2. Peso Vivo de los terneros a los 215 días de vida.	141
3.3.5.3. Carga Animal.	149
3.3.6. Análisis de la contribución de la variabilidad de la precipitación estacional sobre la varianza de la PCN.	155
4. SINTESIS Y CONCLUSIONES.	160
4.1. Síntesis y Discusión General.	163
4.2. Conclusiones Generales.	163
4.3. Conclusiones específicas.	172
4.4. Recomendaciones prácticas.	173
4.5. Recomendaciones metodológicas y futuras líneas de investigación.	174
5. BIBLIOGRAFÍA.	175
6. ANEXO I: Producción de Materia Seca y precipitación acumulada estacional de los recursos forrajeros evaluados en los sitios Cabildo y Bahía Blanca (2006-2012) utilizados en el análisis de regresión.	237

ABREVIATURAS

FDP: Función densidad de probabilidad.

CCG: Cambio climático global.

IPCC: Panel intergubernamental del cambio climático.

ENSO: Oscilación de presión del Sur fenómeno El Niño/La Niña.

DEF: Trimestre estival (enero, febrero y marzo).

MAM: Trimestre otoñal (marzo, abril y mayo).

JJA: Trimestre invernal (junio, julio y agosto).

SON: Trimestre primaveral (septiembre, octubre y noviembre).

IPE: Índice de precipitación estandarizado.

GDP: Ganancia diaria de peso.

MCG: Modelo de circulación global de la atmósfera.

MCR: Modelo de circulación regional de la atmósfera.

PB: Proteína bruta.

DMS: Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca.

EM: Energía Metabolizable.

FBC: Forrajes de baja calidad.

C₄: Especies con vía fotosintética Carbono 4.

C₃: Especies con vía fotosintética Carbono 3.

PPN: Producción primaria neta.

PCN: Producción de carne neta.

MB: Margen Bruto.

SM: Sistema modal.

ST: Sistema de alto nivel tecnológico propuesto.

DST: Desviación estándar.

S-W: Test de normalidad de Shapiro Wilks modificado.

K-W: Test estadístico de análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis.

K-S: Test estadístico de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov.

PPa: Precipitación bajo las condiciones atmosféricas del clima actual.

PPc: Precipitación bajo las condiciones atmosféricas según las señales de cambio climático global en el futuro cercano.

MBBCR: Modelo de simulación de sistemas ganaderos de la región edafoclimática de los partidos de Bahía Blanca y Cnel. Rosales.

CC: Condición corporal.

R²: Coeficiente de Determinación.

r: Coeficiente de correlación.

ÍNDICE DE TABLAS

1. Sitio de registro pluviométrico, ubicación geográfica, altimetría y precipitación media anual.	26
2. Clasificación de condiciones hídricas según el Índice de Precipitación Estandarizado.	30
3. Modelos de Circulación Global de la Atmósfera utilizados en el ensamble regional desarrollado, institución originadora, cuadrícula de resolución espacial y referencia bibliográfica.	33
4. Parámetros Media y Desvío Standard (DST) de la función densidad de probabilidad Normal, determinante del riesgo de la precipitación media anual de los sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR=Carrindanga Norte.	61
5. Nivel de significación de la comparación de igualdad de varianzas entre los pares de los 10 sitios estudiados, por la prueba F (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR=Carrindanga Norte.	63
6. Nivel de significación de la comparación de igualdad de pendientes de rectas entre los pares de las regresiones lineales de los 10 sitios estudiados, por la prueba t Student (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR=Carrindanga Norte.	65
7. Nivel de significación de la comparación de igualdad de ordenada al origen entre los pares de regresiones lineales de los 10 sitios estudiados, por la prueba t Student (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR=Carrindanga Norte.	65
8. Parámetros Alfa y Beta de la función densidad de probabilidad Gamma, determinante del riesgo de la precipitación media estacional de los sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR=Carrindanga Norte.	66

9. Frecuencia (%) de Anomalías húmedas, secas y condiciones normales para cada uno de los sitios evaluados periodo 1970-2011 (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR=Carrindanga Norte. Letras distintas indican diferencias significativas por test no paramétrico de Friedman ($p<0,05$).	74
10. Producción de Materia Seca de Sorgo Forrajero híbrido cv. VDH 701y precipitación acumulada en la estación de verano (DEF) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	237
11. Producción de Materia Seca de Sorgo Forrajero híbrido cv. VDH 701y precipitación acumulada en la estación de otoño (MAM) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	237
12. Producción de Materia Seca de <i>Avena sativa</i> cv. Cristal y precipitación acumulada en la estación de otoño (MAM) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	237
13. Producción de Materia Seca de <i>Avena sativa</i> cv. Cristal y precipitación acumulada en la estación de invierno (JJA) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	238
14. Producción de Materia Seca de <i>Avena sativa</i> cv. Cristal y precipitación acumulada en la estación de primavera (SON) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	238
15. Producción de Materia Seca de <i>Eragrostis curvula</i> cv. Tanganyika y precipitación acumulada en la estación de verano (DEF) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	238
16. Producción de Materia Seca de <i>Eragrostis curvula</i> cv. Tanganyika y precipitación acumulada en la estación de otoño (MAM) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	239
17. Producción de Materia Seca de <i>Eragrostis curvula</i> cv. Tanganyika y precipitación acumulada en la estación de primavera (SON) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	239
18. Producción de Materia Seca de <i>Thinopyrum ponticum</i> cv. Tobiano INTA y precipitación acumulada en la estación de verano (DEF) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	239
19. Producción de Materia Seca de <i>Thinopyrum ponticum</i> cv. Tobiano INTA y precipitación acumulada en la estación de otoño (MAM) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	240
20. Producción de Materia Seca de <i>Thinopyrum ponticum</i> cv. Tobiano INTA y precipitación acumulada en la estación de invierno (JJA) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	240
21. Producción de Materia Seca de <i>Thinopyrum ponticum</i> cv. Tobiano INTA y precipitación acumulada en la estación de primavera (SON) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	240

22. Producción de Materia Seca de <i>Stipa tenuissima</i> y precipitación acumulada en la estación de verano (DEF) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	241
23. Producción de Materia Seca de <i>Stipa tenuissima</i> y precipitación acumulada en la estación de otoño (MAM) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	241
24. Producción de Materia Seca de <i>Stipa tenuissima</i> y precipitación acumulada en la estación de invierno (JJA) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	241
25. Producción de Materia Seca de <i>Stipa tenuissima</i> y precipitación acumulada en la estación de primavera (SON) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).	242

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Esquema general del proceso de modelado científico. La secuencia simplificada contempla varios bucles de retroalimentación en la secuencia del proceso. Adaptado de Izquierdo <i>et al.</i> (2008).	6
2. Evolución y Tendencias de la Temperatura Global Media desde 1860 al 2007. Adaptada del Informe especial del IPCC 2007.	9
3. Cambio estimado de la temperatura de la superficie terrestre a partir de http://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/ con suavizado de los parámetros, escala de 1200 Km. a) periodo 1961-2000 b) Ídem 1961-1980, c) 1971-1990, d) 1981-2000. Adaptado de Núñez <i>et al.</i> 2008.	10
4. Ubicación de los registros pluviométricos dentro del área de estudio.	27
5. Precipitación media anual de los sitios evaluados, periodo 1970-2011. ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR= Carrindanga Norte. Las barras representan el error estándar de la media (n=42). Letras distintas indican diferencias significativas ($p<0,05$).	62
6. Precipitación anual y su tendencia lineal en los sitios evaluados periodo 1970-2011 (n=42). a) Bahía Blanca, b) Cabildo, c) Alférez San Martín, d) Las Oscuras, e) Bajo Hondo, f) Paso Mayor, g) Bajo San José, h) Carrindanga Norte, i) Napostá Norte, j) Pehuen-Co.	64
7. Función densidad de probabilidad de la precipitación estacional, periodo 1970-2011 (n=42). a) Verano (DEF), b) Invierno (JJA), c) Otoño (MAM), d) Primavera (SON). Azul= Bahía Blanca, Negro= Cabildo, Verde= Alférez San Martín, Rojo = Las Oscuras.	67
8. Gráficos de cajas comparando la distribución de la precipitación entre estaciones, periodo 1970-2011 (n=42). a) Bahía Blanca, b) Paso Mayor. Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p<0,05$).	68
9. Gráficos de cajas comparando la distribución de la precipitación estacional entre los 10 sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42). a) Verano (DEF), b) Otoño (MAM), c) Invierno (JJA), d) Primavera (SON). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR= Carrindanga Norte. Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p<0,05$).	70
10. Precipitación de la estación verano (DEF) y su tendencia lineal, periodo 1970-2011 (n=42). a) Bahía Blanca, b) Cabildo, c) Alférez San Martín, d) Las Oscuras.	71

11. Precipitación de la estación Invierno (JJA) y su tendencia lineal, periodo 1970-2011(n=42). a) Bahía Blanca, b) Cabildo, c) Alférez San Martín, d) Las Oscuras.	71
12. Precipitación de la estación Primavera (SON) y su tendencia lineal, periodo 1970-2011(n=42). a) Bahía Blanca, b) Cabildo, c) Alférez San Martín, d) Las Oscuras.	71
13. Precipitación de la estación Otoño (MAM) y su tendencia lineal, periodo 1970-2011(n=42). a) Bahía Blanca, b) Cabildo, c) Alférez San Martín, d) Las Oscuras.	72
14. Índice de Precipitación Estandarizado, escala mensual (IPE1) y trimestral (IPE3), y su tendencia lineal para los sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42). a) Bahía Blanca (IPE1), b) Bahía Blanca (IPE3), c) Cabildo (IPE1), d) Cabildo (IPE3), e) Alférez San Martín (IPE1), f) Alférez San Martín (IPE3), g) Las Oscuras (IPE1), h) Las Oscuras (IPE3).	74
15. Análisis de cluster a partir de las variables precipitación acumulada anual, precipitación estacional (Verano, Otoño, Invierno y Primavera) y frecuencia de ocurrencia de anomalías de la precipitación de distinta intensidad para los 10 sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42).	76
16. Evolución de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca, periodo 1960-2011, análisis de tendencia por polinomio de cuarto orden y por promedios móviles de 11 periodos (n=152).	78
17. Gráficos de cajas comparando la distribución de la precipitación entre el periodo 1860-1960 (n=101) y 1961-2011 (n=51). Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).	79
18. Función densidad de probabilidad de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca. Azul= Periodo 1861-1960 (n=101), Negro= Periodo 1961-2011(n=51).	80
19. Gráficos de cajas comparando la distribución de la precipitación entre el periodo 1860-1960 (n=101) y 1961-2011 (n=51) para las distintas estaciones calendario, a) Verano (DEF), b) Otoño (MAM), c) Invierno (JJA), d) Primavera (SON). Letras distintas indican diferencias significativas por test por test K-W ($p < 0,05$).	81
20. Función densidad de probabilidad de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca. Azul= Periodo histórico real 1861-1960 (n=101), Negro= Periodo histórico real 1961-2011(n=51), Rojo= Periodo 1961-2011 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=51), Verde= Periodo 2012-2050 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=39).	84

21. Evolución de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca del periodo histórico real entre 1960-2011 (n=152), integrado al periodo simulado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera para el periodo 2012-2050 (n=39). Tendencia por función polinómica de sexto orden, y por promedios móviles de 11 periodos. 85
22. Gráficos de cajas comparando la distribución de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca. 1860-1960= Periodo histórico real 1861-1960 (n=101), 1961-2011= Periodo histórico real 1961-2011 (n=51), 1961-2011(M)= Periodo 1961-2011 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=51), 2012-2050= Periodo 2012-2050 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=39). Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 86
23. Gráficos de cajas comparando la distribución de la precipitación estacional de Bahía Blanca. a) Verano (DEF), b) Otoño (MAM), c) Invierno (JJA), d) Primavera (SON). 1860-1960= Periodo histórico real 1861-1960 (n=101), 1961-2011= Periodo histórico real 1961-2011 (n=51), 1961-2011(M)= Periodo 1961-2011 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=51), 2012-2050= Periodo 2012-2050 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=39). Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 88
24. Relaciones entre la precipitación estival (DEF) y la producción primaria neta (PPN) de a) Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701, b) *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees cv. Tanganyika, c) *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA d) *Stipa tenuissima*. Los puntos indican el valor medio (n=3). 97
25. Relaciones entre la precipitación otoñal (MAM) y la producción primaria neta (PPN) de a) Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701, b) *Avena sativa* cv Cristal, c) *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees cv. Tanganyika, d) *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA, e) *Stipa tenuissima*. Los puntos indican el valor medio (n=3). 99
26. Relaciones entre la precipitación invernal (JJA) y la producción primaria neta (PPN) de a) *Avena sativa* cv Cristal, b) *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA, c) *Stipa tenuissima*. Los puntos indican el valor medio (n=3). 100
27. Relaciones entre la precipitación primaveral (SON) y la producción primaria neta (PPN) de a) *Avena sativa* cv Cristal, b) *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees cv. Tanganyika, c) *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA, d) *Stipa tenuissima*. Los puntos indican el valor medio (n=3). 101

28. Producción de carne neta anual de 3 sistemas ganaderos de Bahía Blanca y Cnel. Rosales de nivel tecnológico modal, durante el periodo 2006-2011 (n=18). a) Niveles alcanzados y estimados. Rojo= Valores reales, Negro= Valores simulados, b) Análisis de regresión entre los valores simulados (Y) y los valores reales (X). La línea punteada indica la bisectriz ($Y = X$). 103
29. Producción de carne neta anual de 2 sistemas ganaderos de Bahía Blanca y Cnel. Rosales de alto nivel tecnológico semejante a ST, durante el periodo 2006-2011 (n=12). a) Niveles alcanzados y estimados. Rojo= Valores reales, Negro= Valores simulados, b) Análisis de regresión entre los valores simulados (Y) y los valores reales (X). La línea punteada indica la bisectriz ($Y = X$). 103
30. Margen Bruto ciclo anual de 3 sistemas ganaderos de Bahía Blanca y Cnel. Rosales de nivel tecnológico modal, durante el periodo 2006-2011 (n=18). a) Niveles alcanzados y estimados. Rojo= Valores reales, Negro= Valores simulados, b) Análisis de regresión entre los valores simulados (Y) y los valores reales (X). La línea punteada indica la bisectriz ($Y = X$). 104
31. Margen Bruto ciclo anual de 2 sistemas ganaderos de Bahía Blanca y Cnel. Rosales de alto nivel tecnológico semejante a ST, durante el periodo 2006-2011 (n=12). a) Niveles alcanzados y estimados. Rojo= Valores reales, Negro= Valores simulados, b) Análisis de regresión entre los valores simulados (Y) y los valores reales (X). La línea punteada indica la bisectriz ($Y = X$). 104
32. Gráficos de cajas comparando la distribución de probabilidad de la producción de carne neta (PCN) simulada para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). a) ST-Actual: Sistema tecnificado (ST), en el régimen de precipitaciones actuales. b) SM-Actual= Sistema modal (SM) en el régimen de precipitaciones actuales. c) ST-Actual: Sistema tecnificado (ST), en el régimen de precipitaciones esperado bajo efectos futuros de cambio climático global (CCG). d) SM-Actual= Sistema modal (SM) en el régimen de precipitaciones esperado bajo efectos futuros de cambio climático global (CCG). Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 105
33. Distribución de frecuencias observada de la producción de carne neta simulada para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 106

34. Distribución de frecuencias observada del margen bruto simulado para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 111
35. Relaciones entre el margen bruto y la producción de carne neta de los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). 114
36. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada de *Stipa tenuissima* en la región de estudio (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) PPa= Respuesta a la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) PPc= Respuesta a la distribución de precipitaciones esperada bajo efectos futuros de cambio climático global. Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 116
37. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada de *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA en la región de estudio (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) PPa= Respuesta a la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) PPc= Respuesta a la distribución de precipitaciones esperada bajo efectos futuros de cambio climático global. Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 118
38. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada de *Avena sativa* cv Cristal en la región de estudio (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) PPa= Respuesta a la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) PPc= Respuesta a la distribución de precipitaciones esperada bajo efectos futuros de cambio climático global. Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 122

39. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada de *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees cv. Tanganyika en la región de estudio (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) PPa= Respuesta a la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) PPc= Respuesta a la distribución de precipitaciones esperada bajo efectos futuros de cambio climático global. Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 126
40. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada de Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701 en la región de estudio (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) PPa= Respuesta a la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) PPc= Respuesta a la distribución de precipitaciones esperada bajo efectos futuros de cambio climático global. Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 133
41. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada, por unidad de superficie ganadera total, para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 138
42. Distribución de frecuencias observada de la tasa de preñez simulada para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 141

43. Distribución de frecuencias observada del peso vivo de los terneros a los 215 días de vida, simulado para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 149
44. Distribución de frecuencias observada de la carga animal simulada para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$). 155
45. Contribución de la variabilidad de la precipitación estacional sobre la varianza de la PCN para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). 161

RESUMEN

El calentamiento global origen del fenómeno de cambio climático observado en las últimas décadas, introduce uno de los mayores desafíos para el futuro de la humanidad. La tecnología provee medios para mitigar sus consecuencias, en particular en cuanto a su impacto sobre la producción agropecuaria. El objetivo general de esta tesis fue evaluar el impacto del cambio climático global sobre el comportamiento de las precipitaciones en los partidos de Bahía Blanca y Coronel Rosales, en el sur del la Provincia de Buenos Aires (Argentina). Posteriormente, generar un modelo predictivo que permita estudiar la respuesta productiva y económica de la aplicación de distintos niveles de tecnología sobre las empresas ganaderas de esta región, en función de la distribución de la precipitación del clima actual y frente a las señales de cambios observadas a partir de la evolución del calentamiento global. Más precisamente, sus objetivos específicos fueron: 1) cuantificar y comparar la distribución de la precipitación anual, estacional y de ocurrencia de anomalías dentro del área de estudio y determinar su grado de homogeneidad espacial. 2a) evaluar la existencia de evidencias de cambio climático en la distribución de la precipitación regional hasta el presente y cuantificar el nivel del cambio. 2b) estudiar a partir de los modelos de circulación global de la atmósfera mundiales más confiables en la actualidad, el comportamiento esperado en la distribución de la precipitación regional en respuesta al calentamiento global para el futuro cercano (2012- 2050). 3a) desarrollar un modelo de simulación bioeconómico para analizar el comportamiento productivo de los sistemas ganaderos del área de estudio, en respuesta a la distribución de las precipitaciones específica de esta zona. A partir del modelo, determinar el riesgo productivo y económico actual del sistema modal de la región caracterizado por un bajo nivel tecnológico, respecto a uno propuesto para mejorar la sustentabilidad regional, de alta tecnología. 3b) En función del modelo desarrollado, analizar el impacto del cambio climático previsto de las precipitaciones, sobre el riesgo productivo y económico de los dos sistemas tecnológicos bajo estudio. El análisis se realizó a partir de 10 registros pluviométricos de más de 40 años de antigüedad, distribuidos en la región de estudio. En función de los mismos determinamos las distribuciones estocásticas de ocurrencia de la precipitación en el área, mientras que a partir del registro de mayor antigüedad (1860-2011), evaluamos los efectos del calentamiento global sobre dicha distribución. Posteriormente, construimos un ensamble con los modelos de circulación global de la atmósfera, más confiables en la actualidad, que fue anidado al modelo de circulación regional Weather Research and Forecasting Model, para estudiar las señales de cambio, en la variable precipitación, para la región de estudio en el futuro cercano (2012-2050), bajo el escenario A2 de cambio climático. Esta información fue incorporada en el desarrollo de un modelo bioeconómico de simulación de los sistemas ganaderos zonales. Este modelo se denominó con la sigla "MBBCR" y se estructuró a partir de la integración de tres componentes principales: 1) las funciones matemáticas de densidad de probabilidad de la precipitación determinadas para ambos contextos climáticos (presente y futuro cercano), 2) las ecuaciones de respuesta de los recursos forrajeros zonales frente a la precipitación estacional, determinadas por análisis de regresión a partir de dos experimentos de campo de forrajeras que se llevaron adelante desde 2005 a 2011, 3) los algoritmos para la predicción de respuesta animal en sistemas pastoriles desarrollados por el sistema australiano de requerimientos nutricionales para animales domésticos. Dicho modelo, nos permitió estudiar el efecto de la distribución de la precipitación del clima presente y la esperada en el futuro, sobre el sistema

modal de la zona y la propuesta de mayor adopción de tecnología. Los resultados más importantes de este trabajo fueron que la región de estudio presentó un alto grado de homogeneidad en el comportamiento de la precipitación en su cobertura espacial. Se encontraron evidencias de que el calentamiento global, ha generado modificaciones significativas en el patrón de las distribuciones históricas de lluvias de la región, a partir de la década de 1960, donde se visualiza el inicio de cambios sustantivos en la temperatura media global. En este sentido, la mediana de la precipitación anual se incrementó en un 28,9% ($p < 0,0001$) en el periodo 1961-2011 respecto a 1860-1960. Las señales de cambio climático para el futuro cercano (2012-2050, A2) mostraron la posible introducción de otra nueva modificación en el patrón de precipitaciones anuales y estacionales tendientes a un aumento de las mismas en verano (+36,3%) y otoño (+43,9%) y una reducción en primavera (-11,2%) con respecto al periodo 1961-2011 ($p < 0,0001$). El sistema de mayor adopción de tecnología expuso niveles medios significativamente superiores ($p < 0,0001$) en la distribución de probabilidades de la producción de carne neta (+166% y 255%) y del resultado económico (+479% y 1077%) frente a los observados en el sistema modal, para ambos escenarios climáticos: presente y proyectado (2012-2050, A2), respectivamente. El sistema de mayor aplicación de tecnología manifestó un menor nivel de riesgo, dado por una probabilidad del 0,03% de presentar un nivel de producción de carne neta inferior a 70 Kg. ha⁻¹ año⁻¹, cuando en el sistema modal la probabilidad de superar este nivel sería solamente de un 1,37%. Estas diferencias en los niveles de probabilidad se hicieron más pronunciadas frente a la variabilidad de la precipitación esperada en el futuro cercano bajo el escenario A2 de cambio climático. Concluimos de esta manera, que la propuesta de mayor tecnología se presenta como una alternativa tecnológica para la ganadería esta región, de menor riesgo en sus niveles de producción y resultado económico, cuando fue evaluada frente a la totalidad de la variabilidad del clima actual de la región. Asimismo, se presenta como una estrategia sistémica de mitigación de los efectos negativos que pudieran manifestar el acontecimiento de las señales de cambio climático global previstas para la región de estudio sobre el comportamiento de la precipitación.

PALABRAS CLAVES: Riesgo Climático, Riesgo Económico, Empresa Agropecuaria, Región Semiárida, optimización tecnológica.

SUMMARY

Global warming, revealed by the observed climate changes of the last decades, poses one of the main challenges to the future of human life on Earth. Technology provides means to alleviate its effects, in particular its impact on agricultural production. The general objective of this thesis is to evaluate the impact of climate change on the pattern of precipitation in the departments of Bahía Blanca and Coronel Rosales, at the southwest of the province of Buenos Aires (Argentina) and propose technological solutions for the livestock systems to mitigate its consequences. To carry out this assessment we develop a predictive model of productive and economic responses to the application of technology livestock at farms, conditioned on the current rainfall distribution and the future pattern inferred from the expected climate changes. More precisely, the specific objectives of the thesis are: 1) to determine the degree of spatial homogeneity of the distribution of annual precipitation and the seasonal occurrence of anomalies in the area under study; 2a) to evaluate the evidence of climate change in the historical series of rainfall, quantifying the level of change; 2b) to derive, from the most reliable global circulation models of the atmosphere, the expected distribution of precipitation in the near future (2012-2050); 3a) to develop a bio-economic simulation model of productive performance of livestock systems focusing on the possible response to the rainfall distribution in the region. Using this model, we compare the current economic production risk in a modal system (of low technological level) of the region with one designed to improve the degree of sustainability with high technology. 3b) with the same model we analyze the impact of projected climate change on the production of the two technological systems under study. The analysis starts deriving from 10 regional pluviometric records of over 40 years old, the precipitation distribution in the area. Using the data from the longest entry (1860-2011) we evaluate the effects of global warming on these distributions. Then, we build an ensemble with the most reliable global circulation models of the atmosphere and a regional circulation model: the Weather Research and Forecasting Model. This ensemble is applied to detect the signs of change in local precipitation in the near future (2012 -2050) under the A2 scenario of climate change. All this information is incorporated in a bio-economic simulation model of regional livestock. This model, MBBCR has three main components: 1) the probability density functions of precipitation determined, as indicated above, both for the present and the future climatic contexts, 2) the response equations of zonal forage resources to seasonal precipitation, experimentally determined through regression analysis, 3) the predictive algorithms for animal response under pasture systems based on the Australian nutrient requirements for domesticated ruminants. MBBCR allows us to study the effects of current and expected precipitations on the modal system and the more technological system. The main results we draw from all these studies is that precipitation in the region exhibits a high degree of spatial homogeneity but also that global warming generated, since the 1960s, significant changes in the historical patterns of rainfall in consonance with substantive changes in the global mean temperature. In fact, average annual precipitation increased by 28.9% ($p < 0,0001$) in the period 1961-2011 compared to 1860-1960. The signs of climate change in the near future (2012-2050, A2) show the potential of changes in the pattern of annual and seasonal rainfall with a tendency to increase in the summer (+36.3%) and fall (+43.9%) while spring will tend to decrease (-11.2%), with reference to the period 1961 to 2011 ($p < 0,0001$). With this information at hand, the bioeconomic model yields that the system with higher level of technology will support higher mean

production rates (+166% y 255%) and economic performance (+479% y 1077%) than under the current modal system ($p < 0,0001$), respectively for both climate scenarios: present and future (2012-2050, A2). The system with higher level of technology manifested a lower level of risk as a probability of 0,03% of present a level of meat production less than $70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, where the probability of the modal system to overcome this level was only 1,37%. This difference in probability levels is even more pronounced when we compare with the variability of expected precipitation in the near future under the A2 scenario of climate change. We conclude that the system designed with high degree technology is presented as a technological alternative for livestock systems of this region, with lower risk in their production levels and economic performance, when it was evaluated against the entire current climate variability in the region. It also presents as a systemic strategy to mitigate the negative effects that might manifest the event of global climate change signals for the region under study on the behavior of precipitation.

KEY WORDS: Climate Risk, Economic Risk, Business Agricultural, Semi-Arid Region, Optimal Technology.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema:

El primer problema que enfoca el presente trabajo de tesis, es la falta de conocimiento del impacto del cambio climático global (CCG) sobre la distribución de las precipitaciones en los partidos de Bahía Blanca y Coronel Rosales, dentro del extremo sur del Sudoeste Bonaerense.

En segunda instancia, se desconoce las relaciones existentes entre el comportamiento de la precipitación zonal y la aplicación de distintos grados de tecnología, sobre los niveles de producción y economía de los sistemas ganaderos regionales.

Llegar a esclarecer, cuantificar y proponer métodos de predicción de estos niveles de incertidumbre, contribuiría a incrementar el conocimiento del impacto de la adopción de tecnología sobre el riesgo y sustentabilidad de los sistemas de esta región, tanto en las condiciones actuales de distribución de las lluvias, como frente a las esperadas bajo el fenómeno de CCG.

1.2. Antecedentes generales sobre el tema.

1.2.1. El efecto de la variabilidad de la precipitación sobre la producción agropecuaria de secano.

La precipitación es la variable principal en la definición de los niveles productivos dentro de los sistemas de producción agropecuarios de secano (Paruelo *et al.*, 1999; Ceccarelli *et al.*, 2004 y 2007; Tambussi *et al.*, 2007; Prasad *et al.*, 2008; Merewitz *et al.*, 2010). Illius *et al.* (1998) menciona que la variabilidad de las lluvias es la causa substancial de pobreza en las sociedades agrarias, por dos razones. En primer lugar, las sequías que son lo suficientemente graves como para causar la mortandad del ganado y pérdidas de cosechas, confluyen en la destrucción del capital existente y pérdidas de producción potencial. En segundo lugar, la variación climática hace que la tasa media de rentabilidad a largo plazo sea menor de la que podría mantenerse en condiciones climáticas más estables, debido al tiempo adicional que requiere reconstruir el stock ganadero y al costo de la tasa de interés para refinanciar pérdidas de cosechas. Los ambientes semiáridos son propensos a un alto grado de variabilidad climática y baja producción primaria, determinando graves consecuencias a escala regional. Sin embargo, la incorporación de tecnología permite modificar el impacto de la sequía sobre la producción. Estas razones demuestran que evidentemente, se requiere encontrar soluciones para combatir los efectos económicos y sociales que produce la sequía en la actividad.

En regímenes semiáridos, cuando la degradación de los recursos naturales se intensifica, normalmente se deriva en procesos de desertificación. Oldeman, (1994) señala una alta relación entre la ocurrencia de sequía y el incremento de la presión productiva para compensar pérdidas económicas, derivando en abusos y degradación de los recursos naturales presentes.

Skidmore *et al.* (1979), Puigdefábregas (1995), Merrill *et al.* (1999) entre otros, mencionan que ésta, la desertificación, no es exclusivamente la consecuencia de un fenómeno climático, si no más bien, el producto del desacoplamiento prolongado entre el sistema socio-económico-productivo y la disponibilidad de

recursos naturales. La actividad antrópica, a través de prácticas de producción inapropiadas, son la causa de situaciones propicias a la desertificación, éxodo rural, quiebre de empresas agropecuarias, donde la recurrencia de sequías no son más que condiciones favorables para su progreso (López Bermúdez, 1995; Brandt *et al.*, 1996; Carter, 2002).

La aplicación de tecnología y adecuación de los sistemas de producción a las características agroecológicas específicas de un territorio son una herramienta esencial para mitigar los efectos negativos de la variabilidad climática, optimizar y preservar el uso de los recursos frágiles, disminuir los riesgos de producción y económicos de las explotaciones, asegurando el desarrollo sustentable (Parr *et al.*, 1990; López Bermúdez, 1997; Miller & Wali, 1995; Unger & Baumhardt, 1999; Carter, 2002).

Se entiende por desarrollo sustentable a aquél que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras (World Commission on Environment and Development, 1987). La producción sustentable intenta conjugar al mismo tiempo varios factores ambientales, económicos y sociales deseables como: la conservación de los recursos utilizados en el largo plazo, un mayor nivel de producción con el mínimo consumo de insumos, un apropiado ingreso por unidad de producto, el cubrimiento de las necesidades de la familia y comunidades rurales (Brown *et al.*, 1987; Koohafkan, 1998).

Una mayor variabilidad de la precipitación deriva en un mayor riesgo de la producción. Sin embargo, el riesgo no es una característica que se deba padecer, si no una componente a administrar en función de lograr una mayor sustentabilidad (Hertwich *et al.*, 2000; French, 2003; Hardaker & Lien, 2010; Winterfeldt *et al.* 2012). Existen dos componentes que explican la variabilidad total observada en los sistemas de producción: el riesgo y la incertidumbre. El primero se define como un efecto aleatorio propio de la estructura del sistema bajo análisis, pero que se puede reducir modificando el sistema. Mientras la incertidumbre representa el nivel de ignorancia acerca de los parámetros que caracterizan el sistema. El camino para reducir este último son las mediciones adicionales y el mayor estudio del comportamiento de dichos eventos aleatorios (McDaniels *et al.*, 1997; Fox *et al.*, 2005; Kissinger *et al.*, 2010; Lachin, 2011; Santella *et al.*, 2011).

Diez Herrero *et al.* (2009) indica que la planificación y ordenamiento territorial son el instrumento más económico, sensato y ambientalmente sostenible para la reducción del riesgo natural en las actividades humanas y/o como medio de obtención de territorios más seguros. Para ello, es primordial el estudio y conocimiento adecuado del medio físico y su variabilidad dentro del territorio.

En las últimas décadas se visualiza con mayor claridad a la escala regional, en función de características agroecológicas, demográficas y de infraestructura instalada semejante, como el ámbito más adecuado para la planificación sustentable de los territorios. La estructura político administrativa mínima de ordenamiento territorial es el municipio, responsable de delinear las políticas locales sobre su jurisdicción distrital, motivo por el cual los planes regionales deben concebir el acuerdo de los municipios intervinientes en el mismo. Un ejemplo de esto, a nivel del área de estudio, es el Plan de Desarrollo del Sudoeste Bonaerense creado a través de la ley provincial Nro.13.647 en el año 2004, que comenzó a generar ámbitos de discusión y programas principalmente agropecuarios, articulados entre los 12 municipios involucrados en este territorio.

En Europa, son numerosos los municipios que han desarrollado en los últimos años leyes y planes de ordenamiento territorial para la reducción de los riesgos ambientales, principalmente en lo referido a riesgos de inundación (Schmidt-Thomé, 2005; Olcina Cantos, 2009). Asimismo, otros riesgos naturales comienzan a ser evaluados, como en el municipio de Valencia donde se comenzó un plan distrital de evaluación de riesgos de sequía, debido a la dependencia de las explotaciones agrarias de secano con esta variable y la incertidumbre actual referida al CCG (Olcina Cantos, 2010).

Para ello, son necesarios estudios previos de cuantificación de riesgo en relación a los sistemas agropecuarios presentes en una región. De manera de generar una base de conocimiento sólida para identificar las alternativas más seguras, fortalecer la motivación al cambio tecnológico racional y la elaboración de políticas guía para un desarrollo sustentable (Miller & Wali , 1995). Bajo la perspectiva actual del CCG, los estudios de riesgos ambientales deberían incluir esta componente en la elaboración de prospectiva científica.

1.2.2. El análisis de riesgo.

El análisis de riesgo tiene por objeto determinar a través de métodos matemáticos y estadísticos, el rango y la frecuencia de ocurrencia con la cual determinados eventos pueden suceder en términos de probabilidad (Pindyck & Rubinfeld , 1999; Anderson & Dillon, 2001; Ladanyi, 2003; Chapman *et al.*, 2007; Lachin, 2011; Santella *et al.*, 2011; Gandorfer *et al.*, 2011)

Dentro del análisis de riesgo cuantitativo, los métodos deterministas utilizan estimaciones de un solo punto, en el cual se asignan valores independientes para identificar los resultados que se podrían producir en algunas situaciones específicas. Estos métodos presentan varios problemas, ya que sólo tienen en consideración pocos resultados independientes, y se ignoran miles de resultados factibles más. Además, tampoco evalúan la probabilidad de ocurrencia de los pocos resultados que analizan, ya que por lo general se asignan a cada resultado evaluado el mismo peso. Por lo general, se simplifica excesivamente el modelo de funcionamiento de las variables, reduciendo su precisión, ya que ignoran la interdependencia entre variables de entrada y el impacto de las diferentes variables en interacción sobre el resultado final (Haimés, 1998).

Por otro lado, se encuentran los métodos estocásticos, con base formal en la teoría de la probabilidad y estadística, que tienen por objeto determinar las distribuciones de probabilidad del comportamiento de las variables (Efron & Tibshirani, 1993; Hutchings & Nordblom , 2011).

La teoría de la probabilidad es la parte de las matemáticas que estudia los fenómenos aleatorios estocásticos. Los fenómenos aleatorios, son aquellos que se obtienen como resultado de experimentos repetidos, una y otra vez, bajo las mismas condiciones, pero como resultado posible no presentan un único valor, si no un conjunto de ellos con una distribución de ocurrencia característica (Hardaker *et al.*, 2010). No obstante, de acuerdo a Moss (2008), cualquier desarrollo temporal, sea determinístico o esencialmente probabilístico, que pueda ser analizado en términos de probabilidad, merece ser denominado como un proceso estocástico.

Se entiende por distribución de probabilidad de una variable aleatoria, a una función matemática denominada función densidad de probabilidad (FDP), que asigna para cada suceso definido sobre la variable aleatoria, una probabilidad específica de que dicho suceso ocurra. La FDP de una variable está definida sobre el conjunto de todos los sucesos posibles y su integral en el caso de variables aleatorias continuas es, para cada valor de x la probabilidad de que la variable aleatoria sea menor o igual que x (Shapiro *et al.*, 1972).

La determinación de las FDP de una variable, es una forma mucho más realista de describir su incertidumbre en un análisis de riesgo (Pla *et al.*, 2004; Spiegel *et al.*, 2007). Según el comportamiento de las variables, las mismas se pueden ajustar a distintas FDP, donde entre las más utilizadas se puede destacar las funciones: normal, lognormal, uniforme, triangular, discreta, gamma, weibull, etc.

Para el estudio de la similitud y/o diferencias entre las distribuciones de probabilidad de las variables, el análisis de riesgo estocástico requiere la aplicación de métodos estadísticos paramétricos cuando las FDP en comparación son normales y no paramétricos cuando las FDP son asimétricas y no cumplen con el supuesto de normalidad.

Entre los métodos estadísticos paramétricos de mayor utilización se encuentra el análisis de la varianza (ANOVA, ANalysis Of Variance). El mismo es una colección de modelos estadísticos aplicados a la comparación de FDP *normales*, en el cual la varianza está particionada en ciertos componentes debidos a diferentes variables explicativas. Para ello, se establece un modelo teórico de comportamiento de la variable en estudio, donde los posibles modelos son distribuciones de probabilidad. El diseño experimental a través de técnicas de muestreo de estadística inferencial, permite obtener información de una pequeña parte de la población, con la cual se estima los parámetros de la FDP normal de las poblaciones en estudio (Winer, 1971; Di Rienzo *et al.*, 2001).

A partir de las mismas, se realizan pruebas de significación estadística, usando la FDP “F de Snedecor” como parte del contraste de hipótesis. Los contrastes de hipótesis son técnicas que permiten simplificar el modelo matemático bajo análisis, recurriendo a al uso de estadísticos muestrales. La hipótesis nula es que todas las muestras provienen de la misma población o FDP. Cuando esta se rechaza se acepta la hipótesis alternativa de que las muestras provienen de poblaciones o FDP con distintas medias (Snedecor *et al.*, 1967; Shapiro *et al.*, 1972; Tejedor, 1999; Spiegel *et al.*, 2007).

El ANOVA parte de algunos supuestos que las FDP que compara y sus residuales deben ser de tipo normal, la variable dependiente debe medirse al menos a nivel de intervalo, existe independencia en las observaciones y homogeneidad de la varianza (homocedasticidad).

Entre los métodos de análisis de la varianza no paramétricos más utilizados se encuentran Kruskal y Wallis y Friedman, entre otros (Box *et al.*, 1953; Conover, 1999). Estos métodos permiten realizar las mismas pruebas de hipótesis estadísticas para testear si las muestras provienen de distintas FDP no normales. Este primer test se utiliza para analizar si k muestras independientes provienen de poblaciones diferentes. Por tal motivo su hipótesis de contraste es que las muestras a comparar provienen de la misma distribución (FDP de variables continuas) o de distribuciones con la misma mediana (Kruskal *et al.*, 1952). Mientras el segundo es una modificación de ANOVA propuesta por Friedman (1937) que permite comparar

las esperanzas de dos o más distribuciones sin verificar el cumplimiento del supuesto de normalidad, cuando el diseño experimental corresponde a bloques completos al azar.

1.2.3. La modelización aplicada a las ciencias agropecuarias.

Un modelo es una representación simplificada de la realidad, donde a través de principalmente ecuaciones y algoritmos se busca representar procesos, variables y relaciones entre variables de un evento del mundo real (Dent *et al.*, 1979; France *et al.*, 1984; Peck, 2004; Tobías *et al.*, 2006).

Los modelos científicos se construyen para avanzar en el conocimiento e inferencia de un determinado sistema real, sobretodo cuando esto no se podría llevar a cabo sin el modelo debido a varios motivos: la complejidad del fenómeno o la imposibilidad, costo, peligrosidad, etc, de realizar el experimento en condiciones reales (Hesse, 1963; Hughes 1997, Villalba, 2006; García, 2008). Son una herramienta que permite procesar una gran cantidad de información, analizar exhaustivamente los efectos e interacciones de las componentes que forman parte, predecir las consecuencias de una combinación de situaciones en el sistema y reproducir resultados anticipados del fenómeno bajo estudio, de manera de poder también interpretar y estudiar teorías científicas (Oltjen *et al.*, 1986; Ortega *et al.*, 1999; Peck, 2004; Tedeschi *et al.*, 2004; Tobias *et al.*, 2006)

La utilización de modelos se encuentra relacionada a la teoría general de los sistemas, justamente cuando el objeto de estudio responde a sistemas complejos, con interrelación de múltiples variables.

Se entiende por *sistema* a un conjunto de elementos que presentan distintos tipos de interrelaciones. La Interrelación significa que P elementos se encuentran en una relación R, tal que el comportamiento de un elemento P en R_1 es diferente de su comportamiento en otra relación R_2 (Bertalanffy, 1954).

El enfoque sistémico derivado de esta teoría, brinda un soporte conceptual muy importante para el estudio de sistemas complejos formado por múltiples elementos e interrelaciones como son las explotaciones agropecuarias (Dogliotti *et al.*, 2006). Esto permite la integración entre las aproximaciones al conocimiento científico de la realidad tanto determinística, basada en operaciones de reducción y la sistémica, basada en la composición y comportamiento probabilístico de los eventos.

La mayor utilidad de la modelación radica en que una vez diseñado el modelo, permite llevar a cabo procesos de inferencia deductivos, para averiguar las implicaciones lógicas que se derivan de las premisas que el mismo define. Estas implicaciones lógicas darán lugar a una serie de resultados, los cuales podrán ser analizados, interpretados y aplicados al sistema real objeto de estudio (Fig. 1).

Los modelos se desarrollan mediante procesos de abstracción matemáticos, los cuales comienzan con la observación del sistema real, incluyendo la recolección de datos observacionales y experimentales, y concluye con el diseño del modelo. Para diseñar el modelo se requiere sintetizar la esencia del sistema observado, lo cual implica prescindir de aquellos aspectos que no se consideren fundamentales, para los propósitos de la investigación. Por este motivo, de forma intencionada parte de la complejidad del sistema real se pierde en el proceso de construcción de un

modelo. La aplicación de los principios del método científico permite facilitar este proceso, a través de la formulación de hipótesis y objetivos del estudio que da origen a la creación del modelo.

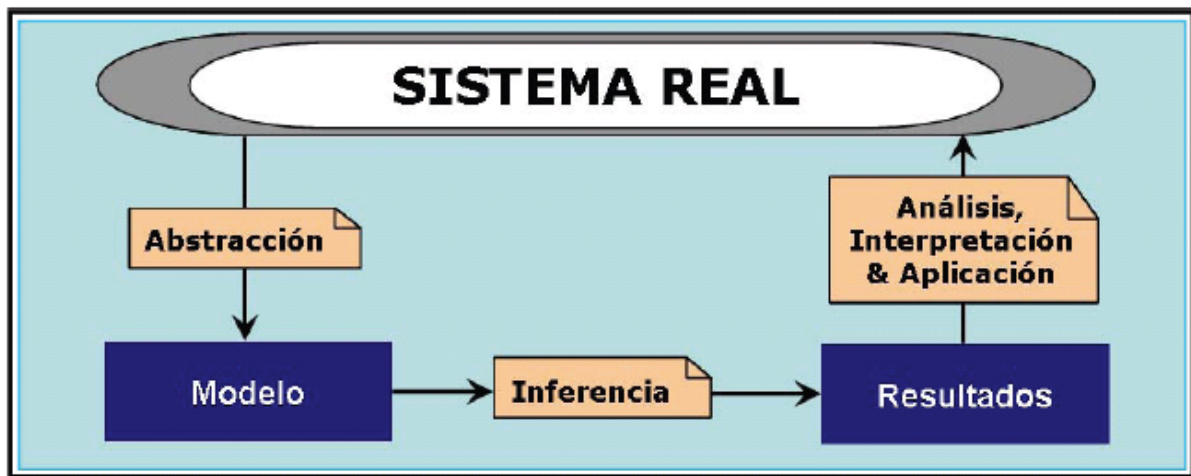


Figura 1. Esquema general del proceso de modelado científico. La secuencia simplificada contempla varios bucles de retroalimentación en la secuencia del proceso. Adaptado de Izquierdo *et al.* (2008).

El modelo será tanto más válido cuanto mejor capture la esencia de su referente empírico. Validar un modelo consiste en valorar su utilidad dentro del contexto de aplicación, de acuerdo con los criterios para los cuales el mismo fue diseñado (Kilpatrick & Steen, 1999; Sargent, 2003; Garcia *et al.*, 2008). La valoración se realiza determinando el grado en que los resultados obtenidos con el modelo se ajustan a los observados en el referente empírico real (Basarab *et al.*, 1993; Moss *et al.*, 1997; Pang *et al.*, 1999; Villalba *et al.*, 2006).

En las últimas décadas, en las ciencias agropecuarias, la utilización de modelos sustentados con la información científica disponible, para evaluar procesos biológicos o sistemas de producción, se ha convertido en un instrumento muy útil, para el avance deductivo del conocimiento. Los mismos permiten estudiar de forma más completa los procesos, su adaptación y eficiencia, ya que permite integrar todos los procesos bajo análisis como variables.

La modelación también se considera una buena opción para estudiar conocimientos generados, tecnologías y su integración en diferentes regiones, dado que si bien se puede disponer de un conocimiento muy acabado sobre una determinada tecnología puntual, su impacto en ambientes distintos puede ser muy diferente (Rotz *et al.*, 2005a). También se puede emplear la modelación cuando se pretende modificar un sistema que involucra numerosos componentes, procesos y relaciones complejas, y es importante contar con escenarios simulados, para experimentar los cambios antes de llevarlos a la práctica, especialmente cuando éstos involucran objetivos críticos, como la seguridad agroalimentaria, el manejo y conservación de recursos naturales, rentabilidad de los sistemas, entre otros. En este sentido, los modelos de simulación son una herramienta que permite hacer una evaluación anticipada y de menor costo sobre el comportamiento de un sistema agropecuario en un periodo largo de tiempo (Rotz *et al.*, 2005b).

Los modelos de simulación, apoyados sobre la legitimidad de la modelización realizada de los eventos y el registro de datos experimentales fehacientes del

terreno, permiten la investigación de una hipótesis o un conjunto de ellas a través de la búsqueda de soluciones numéricas, cuando sería imposible armar un experimento físico real, para analizar dichas hipótesis paso a paso. La realización de experimentos con modelos de simulación exige una gran cantidad de cálculo, por lo que requiere el soporte electrónico de un ordenador digital para el procesamiento de datos (Bernués *et al.*, 1995; Pittroff *et al.*, 2002; Arnade, 2003). La experimentación con el modelo, se realiza después que el mismo haya sido validado, lo cual permite la aceptación y confianza en los resultados obtenidos (Oltjen *et al.*, 1986; Mitchell *et al.*, 1997; Agabriel & Ingrand., 2004; Peck, 2004; Tobías *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2009). A través del diseño del experimento el modelo se configura para generar los resultados para distintos tratamientos que se desea evaluar, que posteriormente podrán ser analizados estadísticamente en función del diseño experimental empleado (Werth *et al.*, 1991; Romera *et al.*, 2006; García *et al.*, 2008; Trevisan *et al.*, 2009).

La simulación consiste en la aplicación de técnicas numérica iterativas aplicadas a un modelo, donde las etapas de éste son transcurridas repetidamente, pudiendo generar distribuciones de probabilidad, que permiten lograr la afirmación o mensajes orientadores del modelo en estudio. Estos experimentos involucran la determinación de relaciones matemáticas y lógicas que son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos períodos de tiempo (Keele *et al.*, 1992; Herrero, 1999; Romera *et al.*, 2004 y 2005; Texeira *et al.*, 2006).

Dentro de las técnicas de simulación numéricas estadísticas se destaca el método de Monte Carlo. El mismo permite aproximar expresiones matemáticas complejas y costosas de evaluar con exactitud aplicable a problemas tanto de tipo estocásticos como deterministas (Peña Sánchez, 2001; Hardaker *et al.*, 2007; Gronow *et al.*, 2010; Gravelinea *et al.*, 2012).

La simulación Monte Carlo (Willis *et al.*, 1969; Beven, 1995 y 2002; Robert *et al.*, 2004) genera una gran cantidad de conjuntos de parámetros escogidos por muestreo aleatorio, a partir de las FDP de los eventos bajo estudio, determinadas e introducidas en el modelo con anterioridad. Cada grupo de muestras se denomina iteración y el resultado correspondiente de esa muestra queda registrado. El modelo se repite cientos o miles de veces obteniendo nuevos parámetros que determinan una distribución de probabilidad de posibles resultados. Este método exige mucho tiempo de formulación pero tiene la ventaja de que puede revelar múltiples juegos de parámetros óptimos que no pueden ser detectados de otra manera (Robert *et al.*, 2004; Egorov *et al.*, 2010). De esta forma, proporciona una visión mucho más completa de lo que puede suceder en un sistema real y la probabilidad de que el evento suceda. Los modelos de tipo estocásticos aplicados al estudio de los fenómenos naturales como la producción agraria presentan un mayor grado de semejanza con la realidad ya que determinan, no una única solución para el problema analizado, sino un rango de resultados factibles con la distribución de sus frecuencias de ocurrencia esperadas, como ocurre cuando se miden los eventos observados experimentalmente en la naturaleza (Herrero *et al.*, 1999).

La utilización de modelos de simulación ha permitido significativos avances de las ciencias agropecuarias tanto para estudiar los procesos edáficos y biológicos en los cultivos (Singels *et al.*, 1991; Ortega *et al.*, 1999; Franco *et al.*, 2001; Dogliotti *et al.*, 2003; Cory *et al.*, 2006; Streck *et al.*, 2006; Giraldo *et al.*, 2007), como los fisiológicos en la producción animal (Baldwin, 1976; Di Marco *et al.*, 1989; Pomar *et*

al., 1991; Herring *et al.*, 1994; Tedeschi *et al.*, 2004; Fox *et al.*, 2004; García, 2008), o en estudios de tipo interdisciplinarios con una visión de sistemas de producción a distintas escalas geográficas (Pannell, 1995; Holmann, 2000; Rodríguez *et al.*, 2000; Gutiérrez *et al.*, 2002; Rounsevell *et al.*, 2003; Walter *et al.*, 2003; Belcher *et al.*, 2004; Perrillat *et al.*, 2004; Romera *et al.*, 2005; Rotz *et al.*, 2005a; Bachinger *et al.*, 2006; Castellazzi *et al.*, 2008; Jiang *et al.*, 2012; Komarek *et al.*, 2012).

1.2.4. El fenómeno de Cambio Climático Global.

Este fenómeno es una de las principales fuentes de incertidumbre para el futuro de la humanidad y el desarrollo sustentable. La comunidad científica viene realizando grandes esfuerzos para generar mayores conocimientos sobre sus causas, formas de tratamiento, adaptación, predicción, tendencias y efectos futuros.

El CCG es un proceso originado por la actividad antrópica. El CO₂ es el contribuyente principal y su concentración atmosférica ha aumentado desde un valor de 278 partes por millón en la era preindustrial, hasta 393 ppm en la actualidad (IPCC, 2007).

A nivel internacional, la actividad científica referida al tema se encuentra coordinada por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). Las conclusiones más importantes en base a los estudios a la fecha se encuentran en el informe 2007 IPCC-AR4 y mencionan las siguientes consideraciones principales.

En los últimos 100 años se constata el calentamiento global del planeta con diferencias marcadas entre regiones y épocas del año. Se visualizan dos etapas, la primera desde 1910 a 1940 con un aumento de la temperatura media anual de 0,35°C y la segunda más importante desde 1970 a la actualidad, de 0,55°C (Fig. 2). El calentamiento a partir de 1970 ha sido mayor en la superficie continental respecto a la oceánica y en el semestre frío del hemisferio Norte (IPCC, 2007).

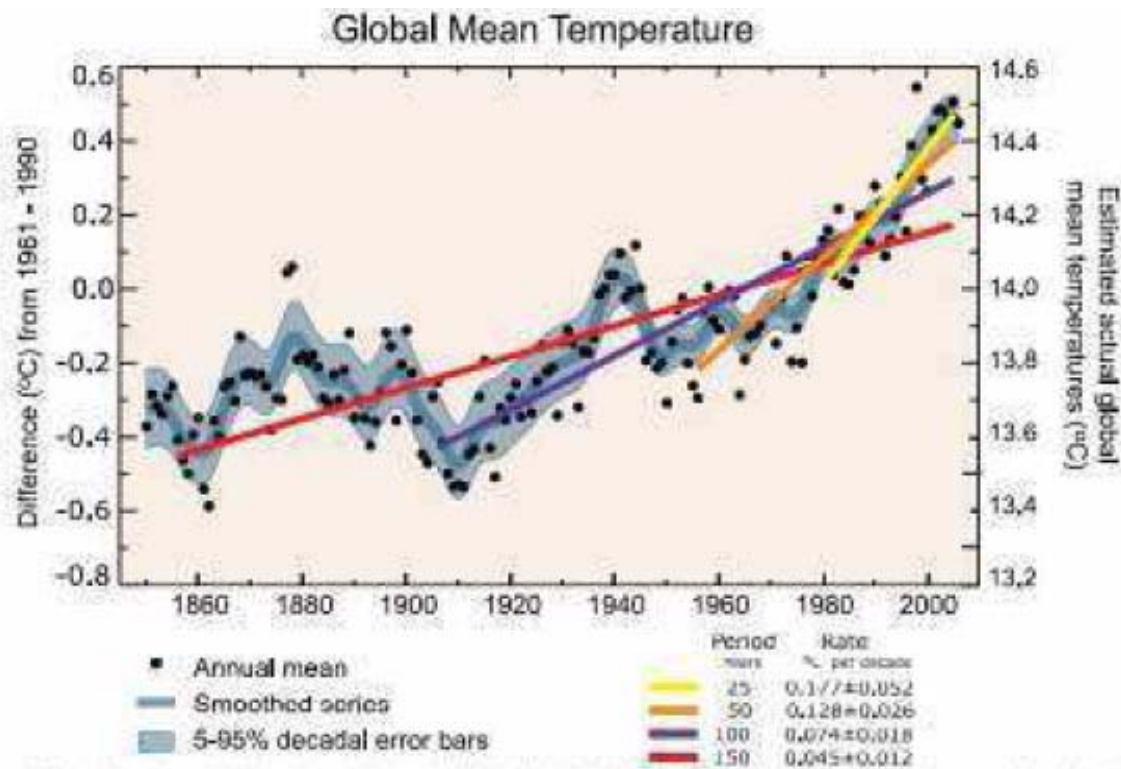


Figura 2. Evolución y Tendencias de la Temperatura Global Media desde 1860 al 2007. Adaptada del Informe especial del IPCC 2007.

Mas aún, el aumento en la temperatura global produce un incremento de la capacidad de la atmósfera para contener humedad, lo que altera el ciclo hidrológico, y especialmente las características de la precipitación. Se han manifestado cambios globales en su intensidad y frecuencia desde 1900 a 2005. Entre las macroregiones que han transicionado a situaciones más húmedas se identifica al este de Norte y Sudamérica, norte de Europa, y norte y centro de Asia mientras que el cambio a regímenes más secos se observa en el sur de África, el Sahel, la región mediterránea y el sur de Asia (IPCC, 2007).

Durante la segunda mitad de siglo XX, se registra un aumento de los eventos térmicos extremos como olas de calor y frío, con una disminución asociada de la cantidad de días y noches frías por sobre los días y noches cálidas. Los extremos de la precipitación, como sequías e inundaciones, también muestran un incremento y se observa evidencia de un aumento de la intensidad en las mismas, aún en regiones donde los valores medios no han aumentado (Kalnay *et al.*, 2003; Stott & Allen, 2004; Alexander *et al.* 2006, IPCC, 2007). Asimismo, en distintos estudios que relacionan a la actividad biológica con el cambio climático se pueden cuantificar efectos negativos sobre la producción agropecuaria y la salud humana (Root *et al.*, 2002; Patz *et al.*, 2005; Beauchemin *et al.*, 2010; Gay, 2010; Beauchemin *et al.*, 2011; Dumortier *et al.*, 2012).

Dentro de los eventos océano-atmosféricos de mayor estudio bajo condiciones de CCG se encuentra la Oscilación de presión del Sur El Niño/La Niña (ENSO) por ser el fenómeno climático interanual más importante con consecuencias en el clima global (Philander *et al.*, 1990; McPhaden *et al.*, 1998; Burgers *et al.*, 2005). Se conoce por “El Niño” al calentamiento atípico de las aguas tropicales del océano Pacífico ecuatorial, mientras que “La Niña” corresponde al enfriamiento

atípico de las mismas. Existen estudios de que el CCG también influye sobre las anomalías del calentamiento de los océanos, responsables del fenómeno ENSO, si bien todavía los estudios existentes no presentan amplio consenso de los modos exactos de regulación e influencia en este fenómeno (Weisberg *et al.*, 1997; Meinen *et al.*, 2000).

Con respecto a Sudamérica los estudios de tendencias de temperatura y precipitación son escasos pero en función de los existentes, puede mencionarse que las regiones extratropicales de Sudamérica experimentan un calentamiento menor al Hemisferio Norte.

En el caso de Argentina se observa un leve enfriamiento respecto a las otras regiones continentales para 1961 a 2000, dado por un enfriamiento marcado entre 1961 y 1980 y ligeramente neutral entre 1981 al 2000 como muestra la Figura 3 (Núñez *et al.*, 2008).

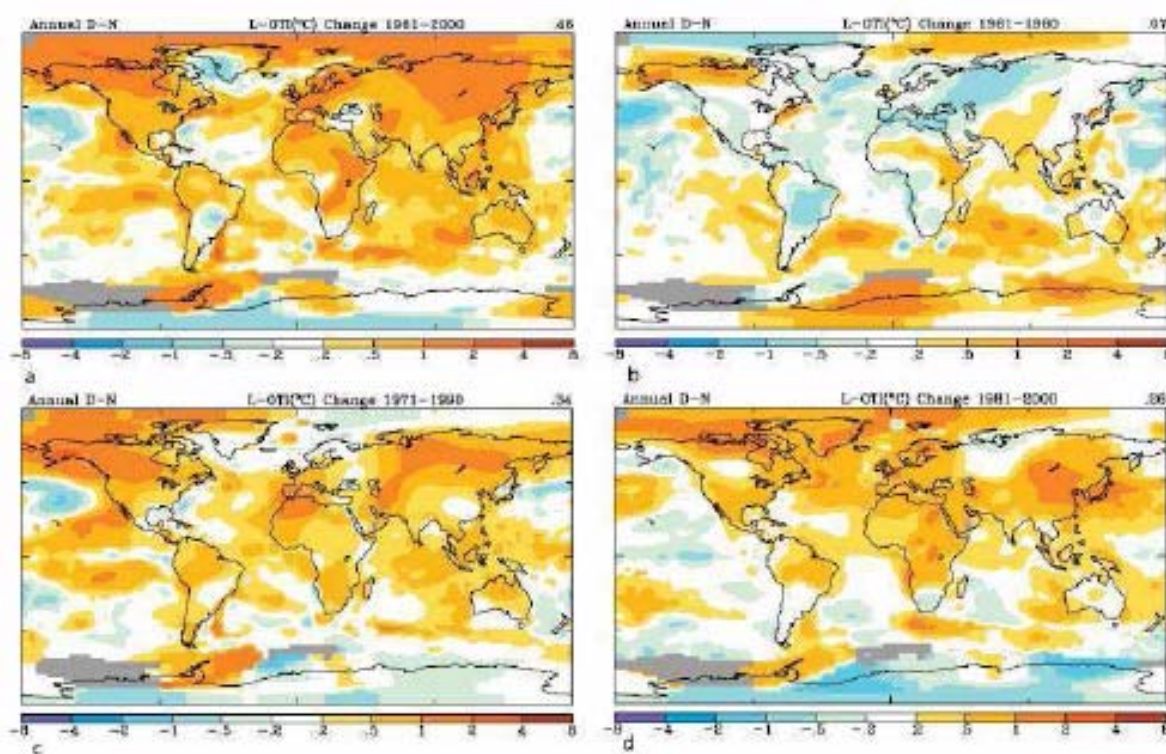


Figura 3. Cambio estimado de la temperatura de la superficie terrestre a partir de <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/> con suavizado de los parámetros y escala de 1200 Km. a). periodo 1961-2000 b) Ídem 1961-1980, c) 1971-1990 d) 1981-2000. Adaptado de Núñez *et al.* 2008.

Rusticucci *et al.*, (2004) encontraron que para el periodo 1959 a 1998 la temperatura máxima media se redujo en el verano del norte argentino, pero aumentaba en la región patagónica. Los cambios más marcados en la tendencia en los extremos de temperatura se registraron en la temperatura mínima media del verano de manera generalizada y con comportamiento positivo. Barruncand *et al.*, (2008) postularon tendencias negativas en el verano, en el número de noches frías y días cálidos. No obstante, para algunas regiones la tendencia de noches cálidas y días fríos aumentó. En patagonia se observaron un aumento de días y noches cálidas en invierno y una reducción del número de días y noches frías en verano.

Núñez *et al.* (2008) encontraron en Argentina para el periodo 1961-2000 un efecto de leve aumento de la temperatura mínima media anual, pero una tendencia negativa en la temperatura máxima media anual. En promedio estos autores identificaron un calentamiento de 0,07°C/década al norte del meridiano 40° S. Respecto a la precipitación la tendencia indicaba un incremento generalizado, con niveles máximos en el centro del país originados en el aumento de transporte de humedad desde la región amazónica, con penetraciones al sur de la región pampeana (Cabré, 2011). A su vez este aumento de la precipitación podría ser causal de la disminución anómala de la temperatura en el centro de Argentina, a través de la baja en la temperatura máxima por aumento de la evapotranspiración y mayor cobertura nubosa durante el día.

Desde el punto de vista de la producción, estos aumentos de la precipitación en la región pampeana en los últimos 40 años son una de las variables explicativas junto al cambio tecnológico asociado al paquete tecnológico de la siembra directa, del corrimiento de la frontera agrícola en la zona semiárida pampeana. Estos cambios, incorporarían una nueva variable relacionada al cambio en el uso del suelo, que influiría sobre el aumento mencionado de la temperatura mínima, por aumento de la capacidad calorífica del suelo en los periodos de baja cobertura vegetal (barbechos), derivado de la utilización con cultivos anuales en vez de pastizales naturales (Núñez *et al.*, 2008).

Desde hace dos décadas, se ha comprobado la existencia de una relación positiva entre las lluvias estivales en Sudamérica y los episodios ENSO “Niño” como viceversa para la manifestación de su antítesis “la Niña” (Ropelewsky&Halpert, 1996). En Argentina se reconoce evidencia de un incremento de la precipitación en la llanura pampeana y gran parte del país relacionado a una mayor frecuencia de ocurrencia de eventos ENSO a partir de la década de 1970 (Hoffman, 1987; Krepper *et al.* 1987; Castañeda& Barros 1994; Scian, 1999; Grimm *et al.*, 2009).

Por ejemplo, la sequía de Diciembre de 1985 y la inundación de Febrero de 1992, episodios extremos que afectaron esta región, coincidieron con anomalías sobresalientes en la circulación atmosférica y en el flujo de vapor de agua hacia la región, coherentes con cada una de las anomalías de lluvia respectivas (Min & Shubert, 1997).

Si bien el impacto de ENSO se observa en forma más marcada sobre la cuenca del Paraná (Aceituno, 1988), también se hace sentir con menor intensidad en el sur de la pradera pampera. Scian (1999) encontró un doble máximo de precipitación en el mes de marzo y en segundo lugar en noviembre–diciembre frente a episodios Niño en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires.

En la región pampeana semiárida, los periodos de sequía son un fenómeno histórico. No obstante en las últimas décadas Scian (2002) y Scian *et al.*, (2008) reportan cambios significativos en la recurrencia de las anomalías secas y húmedas con respecto a los patrones observables en la primera mitad de siglo pasado, principalmente en lo referido a las variables intensidad y periodicidad.

El IPCC (2007) a partir de las evidencias científicas mencionadas, prevé que el aumento de la temperatura global continuará este tipo de cambios observados, principalmente en aspectos como: a) el aumento de los niveles del mar; b) cambios en el patrón y cantidad de precipitaciones; c) expansión de los desiertos

subtropicales; d) mayor ocurrencia de anomalías climáticas extremas (sequías, olas de calor y precipitaciones intensas).

Un mayor conocimiento analítico y científico de la variabilidad de la precipitación en la región o caso contrario del grado de homogeneidad, permite situarse en una mejor posición para enfrentar situaciones posibles de un cambio climático (Scian, 2002) y de estrategias de mitigación a partir del diseño tecnológico aplicado a los sistemas de producción.

En la actualidad las herramientas más confiables para estudiar la respuesta del sistema climático al incremento de los gases invernadero son los Modelos de Circulación Global de la Atmósfera (MCG). Sin embargo, para optimizar su validez a nivel de las ciencias climáticas se ha consensuado internacionalmente que los mismos deben estar apoyados sobre los *escenarios de emisión* del IPCC.

Los escenarios del IPCC son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes de las emisiones en el futuro. Asimismo, permiten evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis. Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero son el producto de muy complejos sistemas dinámicos, determinado por fuerzas tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico, las fuentes de energía utilizadas por el hombre, el uso del suelo y el cambio tecnológico. Su evolución futura es muy incierta, pero los escenarios elaborados plantean combinaciones futuras de estas variables (IPCC, 2007).

En este sentido, el IPCC ha definido cuatro líneas evolutivas de escenarios, donde cada una está basada en una dirección de los acontecimientos futuros claramente diferenciada, que cubren una parte considerable de las incertidumbres inherentes a las principales fuerzas determinantes de las emisiones.

Escenarios A1: describen un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, con una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados del siglo XXI y luego disminuye. Se espera una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes para la generación y uso de la energía. Sus características distintivas más importantes son la convergencia entre regiones, con incrementos en las interacciones culturales y sociales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a ingresos por habitante.

Escenarios A2: describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades regionales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento hasta finales del siglo XXI. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

Escenarios B1: describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.

Escenarios B2: describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en que estos se efectúan a partir de los niveles locales.

Estos escenarios de cambio climáticos proveen una descripción en espacio tiempo de rangos posibles de las condiciones climáticas futuras a utilizar por los modelos de circulación general de la atmósfera.

En la bibliografía científica actual la mayoría de los estudios de prospectiva mediante MCG se apoyan sobre los escenarios A2 y B2 (Moriondo *et al.*, 2006; Meehl *et al.*, 2007; Gordon, 2008; Nuñez *et al.*, 2008; Marengo *et al.*, 2009, Marengo *et al.*, 2010, Urrutia & Viulle, 2009; Krüger *et al.*, 2012; Cabré *et al.*, 2012).

1.3. Descripción del Área de Estudio:

El área de estudio se suscribe a la ocupada por los sistemas de producción agropecuarios de los partidos de Bahía Blanca y Coronel Rosales que abarcan una superficie de 356.230 ha, dentro del Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

La unidad administrativa mínima donde se efectivizan las políticas de ordenamiento territorial es la jurisdicción municipal distrital. Razón por la cual se decidió utilizar esta unidad territorial básica como ámbito de estudio del riesgo natural de los sistemas de producción emplazados en la misma. A nivel de ecorregión ambos partidos se ubican en el extremo sur de la región semiárida pampeana, comprendidos dentro de las isohietas de 600 y 700 mm, manifestando un clima aparentemente homogéneo.

El clima en esta territorio es templado sub-húmedo seco o de transición (Scian 1999; Mormeneo & Castellví Sentís, 2001), con un régimen térmico que responde al clima continental, pero atenuado por la influencia marítima. La temperatura media anual del aire es de 17 °C. El mes más cálido es Enero (27 °C) y el más frío es Julio (7 °C). El periodo libre de heladas es de 160 días de Noviembre a Marzo. El promedio anual de humedad relativa del aire es de 62%, presentando un máximo en junio (78%) y un mínimo en diciembre (41%). Los vientos predominantes son de dirección Noroeste y Suroeste, soplando con mayor intensidad en los meses de primavera y verano, principalmente en diciembre y Enero. La intensidad media anual es de 16 kmhr⁻¹. La precipitación media de la región es de 590 mm con dos estaciones de mayor concentración de lluvias: otoño y primavera. La estación seca es el invierno, pero durante el período estival, acontece otra de características semisecas, principalmente a consecuencia de la elevada evapotranspiración.

El balance hidrológico medio anual, calculado mediante el método de Thornthwaite manifiesta un déficit de agua anual de aproximadamente de 440 mm. En las estaciones de otoño e invierno se produce una reposición de agua en el suelo y a partir del mes de noviembre comienza una situación deficitaria que se agudiza en los meses enero y febrero.

El clima templado de transición característico tiene su origen en el desplazamiento de dos sistemas de presión (grandes masas de aire) provenientes

de los centros de acción del Hemisferio Sur: el anticiclón semipermanente del Atlántico Sur y el del Pacífico Sur. El avance de estas masas de aire genera una divisoria climática, que determina el límite geográfico del alcance de la influencia de los vientos húmedos del Atlántico al Este y de la región amazónica al Norte, principales fuentes de vapor de agua en la zona, y de las áreas sometidas al régimen de vientos secos del Oeste (Capelli y Campo, 1994; Campo *et al.*, 2004; Bohn *et al.*, 2010). La oscilación en la posición geográfica de estas masas, genera un sector de límites intermitentes o zona de transición o semiárida, en relación con la cordillera de los Andes y la baja térmica del Noroeste (Scian, 1999; Labraga *et al.*, 2002 y 2009). Por tal motivo, en este territorio se observa una gran variabilidad de la precipitación interanual con una disminución en sentido Este a Oeste. La advección de aire húmedo del Atlántico tiene su máximo en septiembre, marcando el comienzo de la época lluviosa hasta el mes de enero. Por otro lado, las lluvias en la región, no sólo están influidas por el desplazamiento de las masas de aire que surgen de los centros de acción del Hemisferio Sur, sino que también se ven alteradas por la ocurrencia del fenómeno de escala planetaria, principalmente: ENSO.

Los suelos se distribuyen en una gran planicie ondulada, con orientación marítima al sur del cordón serrano de la Ventania y manifiestan una gran heterogeneidad constitutiva y de evolución. Los suelos predominantes en el área a nivel de Orden son los Molisoles y los Entisoles (INTA 1980; INTA 2000), en las planicies predominan la clase Calciustol Petrocálcico. En ambos órdenes el material parental es de naturaleza loessoide, transportado por el viento, rico en potasio, con presencia de trizas de vidrio volcánico (Buschiazzo, 1999). Los mismos evolucionaron sobre una capa de CO_3Ca bien consolidada que oscila entre 0,20 a 0,80 m, denominada “tosca” que limita la profundidad de los mismos. Predomina un bajo desarrollo de horizontes (generalmente A-AC-C-Tosca o A-B-C-Tosca) con una textura franco arenosa con proporciones inferiores al 10% de arcilla y hasta 35% de limo. Poseen drenaje natural excesivo, baja capacidad de retención de humedad que junto a las sequías estacionales prolongadas, les confiere una alta susceptibilidad a la erosión eólica. La fertilidad química de los mismos es muy baja, con contenido de materia orgánica que oscilan entre el 1,5 al 3%, de nitrógeno entre 0,15% a 0,25% y del fósforo disponible de 8 -12 ppm. El índice productivo medio es del 33% y una proporción superior al 70% de los mismos corresponde a clases IV (límite para la agricultura) o superior (de aptitud no agrícola).

La vegetación natural del área presenta una fisonomía de pastizal bajo compuesto predominantemente por especies gramíneas perennes de crecimiento otoño-inverno-primaveral como *Stipa ichu* (Ruiz & Pav.), Kunth, *Stipa tenuissima* Trin., *Stipa speciosa* Trin. & Rupr., *Stipa trichótoma* Nees., *Stipa brachychaeta* Godr., *Stipa ambigua* Speg, de bajo valor forrajero y baja palatabilidad y otras de mayor preferencia animal como *Poa ligularis* Nees ex Steud., *Stipa clarazii* Ball, *Piptochaetium napostaense* (Speg) Hack y *Stipa tenuis* Phill (Distel y Bóo, 1996; Moretto *et al.*, 1999). En segundo lugar se encuentran especies anuales dicotiledóneas como *Medicago mínima* (L.) Grufberg, *Erodium cicutarium* (L.) L’Herit ex Ait y gramíneas anuales principalmente *Hordeum spp.*

En términos generales, las características agroecológicas mencionadas definen a este territorio con aptitud predominantemente ganadera y con una baja participación agrícola en una pequeña proporción de suelos que califican para esta actividad. En relación a ello, los sistemas de producción predominantes son mixtos, basado en ganadería vacuna de cría-recría sobre principalmente vegetación natural

y la utilización de verdes anuales. La superficie de pasturas perennes es prácticamente imperceptible (3%) y se encuentra en estado de alta degradación (Saldungaray, 2000). El trigo es el principal cultivo agrícola del área con una superficie histórica que ocupa entre ambos partidos 70.000 ha (Gargano *et al.* 1990).

En las últimas décadas, la ganadería basada en cultivos forrajeros anuales y la agricultura se han expandido, obedeciendo a factores económicos y climáticos. Esta situación, en muchos casos ha significado el uso de los suelos por encima de su aptitud productiva y en detrimento de su potencial de producción que ha conducido a un grave deterioro de los mismo, inestabilidad productiva, caída de la rentabilidad y sustentabilidad de las explotaciones de esta región, con coeficientes de variación de las variables de resultados que superan el 100% (Torres Carbonell *et al.*, 2010). En este sentido, se observa una reducción marcada en el número de explotaciones agropecuarias presentes de 682 en 1960 a 345 en 2011 que representan una reducción del -49,4% (Saldungaray *et al.*, 2011).

De manera semejante al resto de la región semiárida pampeana, las características edafoclimáticas limitantes determinan una alta dependencia de la producción agropecuaria principalmente al comportamiento de la variable ambiental: *precipitación* (Burgos, 1969; Forte Lay *et al.*, 1985; Viglizzo *et al.*, 1991; Viglizzo *et al.*, 1996).

1.4. Objetivo General.

Evaluar el impacto del CCG sobre el comportamiento de las precipitaciones en los partidos de Bahía Blanca y Cnel. Rosales. Posteriormente, generar un modelo predictivo que permita estudiar la respuesta productiva y económica de la aplicación de distintos niveles de tecnología sobre las empresas ganaderas de esta región, en función de la distribución de la precipitación del clima actual y frente a las señales de cambios observadas a partir de la evolución del CCG.

1.5. Hipótesis y objetivos específicos.

1.5.1. Cuantificación de las distribuciones de probabilidad de ocurrencia de la precipitación y su variabilidad espacial dentro del área de estudio.

La interacción del comportamiento de la atmósfera en un sitio y los efectos de las características fisiográficas locales puede marcar diferencias significativas, aún en puntos alejados en poca distancia (Kidson & Thompson, 1998; Labraga, 2009). En esa escala, se desconoce las variaciones de las distribuciones de probabilidad de la precipitación que afectan a los sistemas agropecuarios dentro de los distritos políticos de Bahía Blanca y Cnel. Rosales, así como el grado de heterogeneidad del comportamiento de esta variable dentro de este territorio.

El Servicio Meteorológico Nacional posee información climática muy completa, pero en una escala normalmente demasiado amplia para estudios de profundidad regional. No obstante, a nivel de los sistemas geográficos de información, cuando la base de datos disponible para el estudio de un territorio se encuentra compuesta por registros de escala superior a la que abarca el mismo, se hace necesaria la aplicación de métodos de reducción de escala o regionalización de la información.

La utilización de escalas más reducidas, permite generar información más detallada y por lo tanto un conocimiento muy valioso para los sistemas de producción presentes. La lluvia es uno de los procesos atmosféricos que involucra interacciones no-lineales en un rango de escalas de movimiento atmosférico muy amplio. La búsqueda de relaciones lineales empíricas entre el estado de la atmósfera y la cantidad de lluvia registrada en un sitio, es un enfoque válido y efectivo, pero su extrapolación a un área muy grande implica una simplificación importante del comportamiento de la variable en el territorio, la cual puede explicar algunas de sus principales limitaciones (Labraga *et al.*, 2010).

Se entiende por regionalización climática (downscaling) a los métodos estadísticos para obtener una mayor resolución de escala espacial, a partir de modelos globales, análisis de regresión, determinación de patrones estocásticos generadores del clima y modelos de área limitada (Kim *et al.*, 1984; Von Storch *et al.*, 1993; Wilby *et al.*, 1997, 1998 y 2002).

La suposición de que el clima local está condicionado por interacciones entre las circulaciones de gran escala de la atmósfera, los océanos y características físicas de pequeña escala de cada sitio, como topografía, cobertura vegetal, tipo y estado del suelo, es el fundamento de los métodos de regionalización del clima y estudios de reducción de escala en un territorio (Von Storch *et al.*, 2000; Salathe, 2003).

La regionalización de la información climática permite optimizar la generación de pronósticos locales, pero también es una herramienta muy importante para el análisis del comportamiento de los registros históricos observados. Scian (1999), en un estudio del impacto del fenómeno ENSO sobre pradera pampeana a través de métodos estadísticos de regionalización por asociación, determinó tres subregiones diferenciales sobre las cuales se esperaba en orden creciente una mayor influencia de este fenómeno: Sudoeste, Norte y Este pampeano, respectivamente.

En un trabajo de estimación de las anomalías de la lluvia en 22 localidades de la Región Pampeana mediante downscaling estadístico, los resultados de un análisis de las componentes principales aplicado a los datos observados y estimados indicaron que la reducción de escala permitió discernir con mayor precisión áreas con diferente comportamiento de la lluvia dentro de la región de estudio (Labraga *et al.*, 2010). La información pronosticada se realizó mediante el ensamble de veinte simulaciones con el modelo MCGA CSIRO-9, prescribiendo la temperatura de la superficie del mar de acuerdo con los valores diarios observados en el período 1987-1998.

Brandizi *et al.* (2009) en una evaluación de un procedimiento de pronósticos por regionalización climática a partir del conocimiento del estado de la atmósfera y la incorporación de los efectos de las características fisiográficas locales de Bahía Blanca y el paraje Paso Piedras, ubicado a 25 km por sobre el límite norte de la zona de estudio de este trabajo, encontraron para Paso Piedras un 24% y 19% más de precipitación media anual respecto a Bahía Blanca, para los valores observados y los predichos por el modelo bajo estudio, respectivamente, para el periodo 1979-2006.

Estos resultados indicarían que a nivel del área de estudio sería factible encontrar diferencias en las distribuciones de la precipitación que estarían denotando distintos niveles de riesgo sobre los sistemas de producción presentes.

Para la cuantificación del riesgo de la precipitación en una escala de detalle se necesita disponer de registros en sitios próximos dentro del área, que permitan analizar inicialmente la existencia de diferencias con significación estadística y posteriormente, cuantificar la magnitud de dicho grado de heterogeneidad.

Por tal motivo, nos planteamos que el relevamiento de información local de series históricas de precipitación y su tratamiento podría ser utilizado para la regionalización de la precipitación dentro del área de estudio, para la determinación de las distribuciones de probabilidad y la evaluación del grado de homogeneidad espacial de dicha variable. Estas determinaciones serían útiles para indagar la existencia de valores críticos diferenciales en las distribuciones de probabilidad de la precipitación y sus anomalías. En la medida que estas distribuciones difirieran significativamente, se podría llegar a requerir una discriminación de la zona en distintas subáreas de estudio. Asimismo, la generación de este conocimiento regional podría contribuir al ajuste de la tecnología y de los sistemas de producción a las características diferenciales del comportamiento de las lluvias dentro del área, de manera de optimizar los niveles de producción, rentabilidad y sustentabilidad.

Los motivos expuestos dieron origen a la siguiente primer hipótesis formal y su objetivo específico correspondiente:

Hipótesis 1: *La variabilidad de la precipitación anual, estacional y de anomalías extremas, manifiesta diferencias en el comportamiento espacial en el territorio de estudio. Consecuentemente, la misma determinará distintos niveles de riesgo de ocurrencia del evento dentro del área, hasta el momento no valuados en su importancia o grado de heterogeneidad.*

Objetivo específico 1: *Cuantificar y comparar la distribución de la precipitación anual, estacional y de ocurrencia de anomalías dentro del área de estudio y determinar su grado de homogeneidad espacial.*

1.5.2. Evaluación de efectos del CCG en la distribución de la precipitación en la zona de estudio.

Las investigaciones científicas demuestran que el aumento de las temperaturas medias mundiales desde mediados del siglo XX se encuentran altamente correlacionadas al aumento observado en las concentraciones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico (IPCC 2000, IPCC, 2007).

Si bien, este aumento de la temperatura se ha desarrollado de forma muy lenta, las consecuencias sobre las variables climáticas han sido en proporciones mucho mayores (IPCC 2000). El IPCC (2007) resalta que mínimas variaciones en los valores medios de la temperatura global pueden producir cambios relativamente grandes en la intensidad y frecuencia de otros eventos climáticos tanto en sus valores medios como extremos. Es así que, la preocupación del incremento de la temperatura media en 0,74 °C desde 1910 a la actualidad, es más relevante desde las consecuencias potenciales de sus efectos sobre la evolución del clima, que no son impensables desde una perspectiva científica

En el caso específico de la precipitación, el incremento de la temperatura media global ha manifestado cambios sobre su comportamiento histórico de manera muy diversa en distintas regiones del mundo, como la manifestación de eventos

contrapuestos como sequías e inundaciones (Stott & Allen, 2004, Alexander, 2006; Fernández *et al.*, 2007; IPCC, 2007).

Por otro lado, existe una gran incertidumbre en cuanto a como evolucionará este fenómeno en el futuro, sus consecuencias sobre el clima en las distintas regiones del mundo y como enfrentar estos cambios con implicancias ambientales, económicas y políticas (Zhu *et al.*, 2004; Stern, 2006).

Para el análisis de períodos futuros no hay observaciones disponibles. Por lo tanto, el impacto del CCG en dichos periodos futuros del tiempo se explora comúnmente, por medio de proyecciones de MCG (Xu, *et al.*, 2004; Stensrud & Yussouf, 2007; Kattenberg *et al.*, 2010). Los MCG constituyen en la actualidad el instrumento más confiable para estudiar la respuesta del sistema climático al aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero y como el sistema podría evolucionar bajo diferentes escenarios de emisión (Easterling *et al.*, 2000; Tebaldi *et al.*, 2006; Baettig *et al.*, 2007; Marengo *et al.*, 2009). Es por ello, que estos modelos se ejecutan a partir de los escenarios de concentración de emisiones ya descritos. Los MCG permiten determinar rangos en espacio y tiempo de las posibles condiciones climáticas futuras y su nivel de certeza (Mitchell *et al.*, 1999; Jones *et al.*, 2001; Murphy *et al.*, 2004)

Los MCG son modelos dinámicos numéricos, que tienen por finalidad simular el cambio del clima debido a variaciones de condiciones de las zonas límite de la atmósfera, como la temperatura de la superficie del mar. Normalmente combinan un componente atmosférico y un componente marítimo. La superficie del mar es la interfaz donde se producen las transferencias del agua por evaporación y precipitación, y de momentum (Labraga *et al.*, 1997; Parker *et al.*, 2005). La determinación del acoplamiento exacto de la atmósfera, de rápida variación térmica, con el océano, de lenta variación o larga memoria térmica, permite generar buenas estimaciones y simulaciones del comportamiento de los sistemas atmosféricos a gran escala, tal como puede ser el fenómeno ENSO (Gordon *et al.*, 2000).

Los resultados de las distintas simulaciones son evaluados y presentados en grandes proyectos de intercomparación de modelos (Taylor *et al.*, 2009, Taylor *et al.*, 2011). Para la validación y determinación del nivel de certidumbre de los mismos, estos modelos se ejecutan bajo condiciones actuales del aumento de los gases de efecto invernadero, tal como han ocurrido en el siglo XX y sus salidas se comparan con las observaciones reales históricas (control 20C3M) (Misra *et al.*, 2002).

El ajuste de los MCG a la variabilidad regional de menor escala, comúnmente se realiza a través del anidado de estos, a Modelos Climáticos Regionales (MCR) (Giorgi *et al.*, 1990; Joubert *et al.*, 1999; Jones *et al.*, 2003, Jones *et al.*, 2006, Rummukainen *et al.*, 2004; Rummukainen, 2010, Cabré *et al.*, 2012).

Los productos de los modelos, estiman la precipitación de una región con la forma de una cuadrícula geográfica. Los MCR pueden generar información con resoluciones muy altas como los 50km o 25 km de borde. No obstante, para la comparación de los resultados de los modelos, respecto las observaciones reales de las estaciones meteorológicas, se debe llevar las localizaciones a un mismo nivel de cuadrícula. Esto se realiza mediante la regionalización (down scaling) de las observaciones reales, o de la escala de resultados de los modelos, a través de distintos métodos (Dickinson *et al.*, 1989; Antic *et al.*, 2004; Garreau *et al.*, 2008; Marengo *et al.*, 2009; Labraga *et al.* 2009; Urrutia & Viulle, 2009; Fowler *et al.*, 2010; Marengo *et al.*, 2010; Menéndez *et al.*, 2010).

Las proyecciones futuras obtenidas por el anidado de MCR a MCG, en conjunto con el conocimiento del comportamiento del sistema climático en la actualidad y de los factores responsables del CCG permite una mayor precisión en la definición de estrategias de mitigación de los efectos esperados (Christensen *et al.*, 2007; Solman *et al.*, 2011a).

Las simulaciones climáticas regionales, mejoran substancialmente el comportamiento de las variables precipitación y temperatura tal como lo demuestran los trabajos de Giorgi *et al.* (2000 y 2004); Menéndez *et al.* (2003); Caya & Biner (2004), Räisänen *et al.* (2004); Cabré *et al.* (2010); Solman *et al.* (2011a y 2011b). Las mismas permiten representar las características de pequeña escala relacionadas a contrastes térmicos, debido a la compleja topografía u otras heterogeneidades en la superficie. Desde el comienzo de su generación en la década de los '90 (Dickinson *et al.*, 1989; Giorgi, 1990), sus salidas se vienen utilizando en distintas aplicaciones y regiones con resultados relevantes.

Dentro de la zona de estudio, se desconoce el nivel de impacto que ha tenido el CCG desde su inicio en el siglo pasado, sobre el comportamiento de la precipitación. Motivo por el cual, nos planteamos que en una primera instancia, deberíamos determinar el efecto del mismo sobre la distribución histórica de probabilidades de ocurrencia de las lluvias, tanto de manera interanual como intranual (estacional).

Esta información permitiría explicar los cambios que se infieren intuitivamente en el clima de la región, pero que se desconoce científicamente la cuantificación del nivel y las características del cambio. En un segundo paso, la determinación de las FDP de las lluvias históricas, podrían ser la base para relacionar y cuantificar el desempeño de la aplicación de distintos niveles tecnológicos a los sistemas ganaderos locales de secano, en las condiciones atmosféricas del clima actual.

Sin embargo, si se encontraran evidencias de cambio climático en este estudio, se estaría incorporando un nuevo interrogante, dado por la incertidumbre que genera la evolución del calentamiento global y sus efectos sobre la distribución de la precipitación futura en la zona de estudio.

Son pocos los trabajos que han estudiado los efectos futuros del CCG a través del modelado climático regional en el ámbito de Sudamérica (Figueroa *et al.*, 1995; Misra *et al.*, 2002; Rojas & Seth, 2003; Menéndez *et al.*, 2003; Misra *et al.*, 2003 y Xu *et al.*, 2004) y mucho menos aún en Argentina donde básicamente se destacan los trabajos de Solman *et al.* (2007), Nuñez *et al.* (2008), Labraga *et al.* (2010); Cabré (2011); Cabré *et al.* (2012).

Entre los últimos avances para estudiar el clima medio del sur de Sudamérica, analizar el cambio climático continental y crear una base de datos para realizar estudios de impacto, se deben mencionar las tres simulaciones realizadas en el contexto de la Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (2007). De esta manera se identificaron los puntos críticos de la simulación climática regional en un área escasamente estudiada para poder determinar posteriormente proyecciones futuras con cierto grado de confiabilidad.

La primera simulación cubrió el periodo 1981-1990 y las dos restantes el periodo 2081-2090 sobre los escenarios de emisión A2 y B2, utilizando el modelo regional MM5 anidado en el MCG Hadley Centre (HadAM3H). Entre los resultados

más importantes se enumera la muy buena representación y alta confiabilidad que mostró la integración de MM5 para representar la distribución geográfica y regímenes de la precipitación en la mayor proporción del sur de Sudamérica. Si bien logró una adaptación variable en las condiciones de bordes orográficos de la región de los Andes.

Posteriormente, a través del trabajo de Solman *et al.* (2007), se efectuó un avance muy importante en la comprensión de los procesos y factores atmosféricos que influyen en esta región y fue un pilar para definir la base para examinar las simulaciones de cambio climático futuras para los escenarios de emisión A2 y B2.

Con el trabajo de Núñez *et al.* (2008) se analizó la distribución espacial del cambio anual y estacional de las temperaturas media, mínima y máxima, y la precipitación a escala de la misma región continental, para el periodo 2081-2090 bajo los escenarios A2 y B2. Se obtuvo una importante información en cuanto a las modificaciones de los factores presión a nivel del mar y estructura de la circulación atmosférica regional que permitió comprender mejor los cambios en la interfaz de los modelos: la superficie marítima.

Cabré (2011), realizó un aporte muy importante en cuanto al estudio del nivel de incertidumbre del modelo MM5 en cuanto a proyecciones en el futuro lejano (2080-2099) para el sur de Sudamérica. Los resultados encontrados por esta autora permiten concluir que este modelo regional es capaz de reproducir acertadamente las características interanuales y estacionales generales del clima, lo cual constituye un interesante punto de partida para comenzar a generar escenarios regionales de cambio climático de mayor resolución en esta parte del cono Sur.

En la actualidad el modelo regional MM5 ha evolucionado en un modelo de uso libre denominado WRF, que utiliza los esquemas de representación de las variables climáticas del modelo anterior con algunas mejoras adicionales.

En este sentido, la utilización de métodos matemáticos de ensamblajes de MCG y MCR como los descriptos, serían adecuados, a partir del desarrollo de la ciencia actual, para evaluar las señales de cambio climático futuro sobre la zona de estudio frente a la evolución proyectada del CCG. De esta manera podríamos determinar en términos estocásticos la distribución esperada de las lluvias y evaluar la existencia de posibilidades de cambio respecto a la distribución determinada de la precipitación histórica en el clima actual.

En un segundo paso, pensamos que la determinación de las frecuencias de ocurrencias de la precipitación esperadas en el futuro nos permitiría evaluar con antelación las respuestas de distintos niveles de tecnología utilizada en los sistemas de producción del área de estudio. Este conocimiento permitiría un mayor nivel de competencia, para desarrollar estrategias y analizar las mejores alternativas tecnológicas que permitieran mitigar los potenciales efectos del CCG factibles sobre los niveles de producción y economía de los sistemas ganaderos regionales.

Los factores expuestos dieron origen a las siguientes hipótesis y objetivos específicos.

Hipótesis 2a: *El incremento del calentamiento que experimenta el planeta, está generando cambio en el comportamiento de la precipitación en numerosas regiones del mundo con intensidad variable. El área de estudio sería una región en la cual el CCG ya ha introducido variaciones en las distribuciones de probabilidad de las precipitaciones históricas, con tasas de cambio aún no cuantificadas.*

Hipótesis 2b: De continuar dicho fenómeno, se generaría una nueva modificación en las distribuciones de probabilidad de las precipitaciones diferente a las observadas en el clima hasta el presente.

Objetivo específico 2a: Evaluar la existencia de evidencias de cambio climático en la distribución de la precipitación de la región de estudio hasta el presente y cuantificar el nivel del cambio.

Objetivo específico 2b: Estudiar a partir de los MCG mundiales más confiables en la actualidad, el comportamiento esperado en la distribución de la precipitación en respuesta al CCG para el futuro cercano (2012- 2050).

1.5.3. Estudio del riesgo productivo y económico de los sistemas ganaderos del área.

Se prevé que la población mundial aumentará de los actuales 6,5 mil millones de personas a más de 9,5 mil millones en el año 2050. Esto generaría un aumento del 70% en la demanda de carne, leche y huevos, por lo que el sector ganadero mundial se verá frente a una escenario de tener que producir más alimentos, utilizando menos insumos debido a una competencia más intensa por tierra, agua y energía (FAO , 2009).

Para mantener el consentimiento social, dado que el impacto ambiental de la producción pecuaria es una preocupación importante, será esencial mejorar la productividad demostrando un compromiso con tecnología que aporte a la sustentabilidad (Capper & Hayes, 2012).

La tecnología juega un rol fundamental en la eficiencia y rentabilidad de los sistemas (Subak, 1999; Wileman *et al.*, 2009). Como demuestran otros países, los sistemas ganaderos vacunos en USA alcanzan un intervalo entre partos de 365 días, una tasa de parición del 91,5%, con un 96,5% de los partos que producen un ternero vivo (USDA, 2009a , b). Mientras en nuestro país la tasa de preñez estimada para el promedio nacional se mantiene en el orden del 62% en la última década (Rearte, 2010), y para la zona de estudio del 65% (Gargano & Adúriz, 2000; Saldungaray *et al.*, 2011).

La ganadería de cría y recría vacuna es la principal actividad agropecuaria en los distritos de Bahía Blanca y Cnel Rosales. Los sistemas predominantes o modales se caracterizan por un muy bajo nivel de adopción de tecnología, tanto de las relativas a los procesos de producción primaria (manejo y producción de los recursos forrajeros), como las de producción secundaria (manejo, sanidad y nutrición animal, etc.).

Sin embargo, se observa que la incorporación de tecnología de mayor adaptación a las condiciones edafoclimáticas de una región semiárida en las explotaciones de punta de la zona de estudio, permiten lograr sistemas que demuestran incrementos marcados y una mayor estabilidad en la producción (Gargano & Adúriz, 2000; Saldungaray *et al.*, 2011).

Dentro de las tecnologías de mayor impacto en los procesos de producción primaria, se destaca la elección de las especies y cultivares forrajeros que manifiesten la mejor adaptación al ambiente en cuanto a variables como

productividad, persistencia y estabilidad (Moolman *et al.*, 1996; Waldon *et al.*, 1998; Johnston *et al.*, 1997; Francis *et al.*, 2003; Veneciano *et al.*, 2006; Ruiz *et al.*, 2008). La introducción de forrajeras de alta productividad en un ambiente puede incrementar significativamente la receptividad ganadera (Semple *et al.*, 2003, Ferrando *et al.*, 2005; Deifel *et al.*, 2006; Cornacchione, 2007; Cid *et al.*, 2008).

Las gramíneas megatérmicas presentan características bioquímicas y fisiológicas, para alcanzar una productividad más elevada en ambientes semiáridos, con sequías frecuentes y severas (Stritzler, 1996; Wan *et al.* 2000; Di Renzo *et al.*, 2003; Casler *et al.*, 2004; Osborne, 2008; Stritzler, 2008; Ferri *et al.*, 2011). Su metabolismo fotosintético C₄, les permite ser más eficientes en la captación de CO₂ frente a altas temperaturas e intensidad lumínica (Dyer *et al.*, 1991; Gliessman, 1998; Edwards *et al.*, 2010). Poseen una mayor resistencia estomática a la pérdida de agua (Wentworth, 1983; Abraham *et al.*, 2004). Esto deriva en una tasa de fijación de moléculas de CO₂ fijada por molécula de agua superior a las especies C₃ y una alta eficiencia del uso del nitrógeno en suelos poco fértiles (Clark y Lugo, 1986; Ehleringer *et al.*, 1997; Gliessman 1998, Waldon *et al.*, 1998; Wand *et al.*, 2001; McFarland *et al.*, 2000; Chan *et al.*, 2001; Sage, 2004; Wehrl *et al.*, 2005; Johnston *et al.*, 2005;). No obstante, se asume generalmente que las gramíneas C₄ tienen una menor calidad nutricional que las gramíneas C₃ (Galloway *et al.*, 1991; Galyean y Goetsch, 1993; Barbehenn *et al.*, 2004; Bohnert *et al.*, 2011), que se ha atribuido a una mayor cantidad de carbohidratos no estructurales, proteína bruta y menor proporción de fibra (Wilson *et al.*, 1983. ; Barbehenn & Bernays, 1992; Lambers *et al.*, 1998; Coblenz *et al.*, 2004). Por lo cual, la implantación de algunas especies C₃ de alta tolerancia a estrés hídrico como el agropiro y algunos cereales forrajeros son muy importantes, debido a que permiten la confección de una cadena forrajera más consistente, a partir de especies de distintos ciclos de crecimiento y calidad (Hess *et al.*, 1994; Agnusdei *et al.*, 2001; Bowman *et al.*, 2003; Guillen *et al.*, 2005; Hendrickson *et al.*, 2005 ; Butler *et al.*, 2006; Coleman *et al.*, 2010; MacKown *et al.*, 2010; Chamberlain *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2012).

La principal limitante para el crecimiento de los recursos forrajeros en regiones semiáridas, lo constituye la precipitación (Frank *et al.*, 1996; Paruelo *et al.*, 1999; Tambussi *et al.*, 2007; Prasad *et al.*, 2008; Merewitz *et al.*, 2010; Badu-Apraku *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2012). Esto indicaría que la producción primaria neta (PPN) de los distintos recursos forrajeros utilizados, debería ser analizada, en primera instancia, en base a su respuesta frente a la dotación de lluvias estacionales característica de una región, para un tipo de suelo y manejo determinado. Si bien en la zona de estudio existen estudios de evaluación de la PPN de algunas forrajeras (Gargano *et al.*, 1984; Gargano *et al.*, 1988; Aduriz *et al.*, 1989; Gargano *et al.*, 2001a; Gargano *et al.*, 2001b; Gargano *et al.*, 2004; Gargano *et al.*, 2006), no se han estudiado y definido relaciones específicas con la precipitación para las distintas estaciones del año. Por lo tanto, especulamos que determinar las relaciones de la precipitación estacional con diferentes recursos forrajeros podría ser utilizado como modelos empíricos para definir la tasa de respuesta de la PPN a esta variable. Estas relaciones serán útiles para determinar valores críticos por encima de los cuales la variable precipitación reduce su relevancia según cada especie. Como así también, los mismos valores por debajo de los cuales, existen distintas tasas de disminución de la PPN, permitiendo identificar especies de mayor tolerancia y eficiencia en el uso del agua frente a la sequía. Asimismo, se podría evaluar las frecuencias de probabilidad de ocurrencia de la PPN de cada recurso, en función de la noción

previa de la distribución de la precipitación estacional en la región que suscitó la Hipótesis 2, y de esta manera determinar el riesgo de la PPN de cada recurso para la región de estudio.

Una comprensión más acabada de las probabilidades esperadas de la PPN de los recursos, permitirá ajustar con mayor precisión las tecnologías de producción secundarias, tales como la carga animal, la época de servicio, el tipo de destete, la época adecuada para realizar la reserva de potreros, los momentos que distintas categorías requerirán suplementación, etc.

En este sentido, pensamos que este conocimiento sería una base muy importante para optimizar la planificación de la composición de la oferta forrajera, como evaluar las proporciones más adecuadas según el tipo de sistemas y uso de la tecnología en la región.

Por otro lado, la escasez y variabilidad de la precipitación determinan una baja calidad durante la mayor proporción del ciclo anual de los pastizales y forrajes. Se denomina forrajes de baja calidad (FBC) a aquellos que presentan características nutricionales deficitarias, dadas por: muy elevados contenidos de fibra y con alto grado de lignificación, una digestibilidad de la materia seca (DMS) menor al 55%, proteína bruta (PB) menor al 8%, bajos contenidos de azúcares y almidón (menor a 100gKg^{-1} MS) (Leng, 1990; Bohnert *et al.*, 2002a; Currier *et al.*, 2004b).

Los FBC definen un ambiente ruminal limitante para la proliferación bacteriana, que repercute en una caída en las tasa de digestión y del pasaje de la fibra (Bohnert *et al.*, 2002c; Atkinson *et al.*, 2010a). Esto desemboca en una reducción del consumo voluntario y por consiguiente de las ganancias de peso (GDP) (Lintzenich *et al.*, 1995; Mathis *et al.*, 2000; Bodine *et al.*, 2001; Currier *et al.*, 2010a). Diversos autores coinciden (Koster *et al.*, 1996; Del Curto *et al.*, 2000; Bohnert *et al.*, 2002b; Currier *et al.*, 2004c) en que el factor nutricional más importante que limita la GDP de los bovinos es el consumo de energía metabolizable (EM), mientras en segundo lugar, frente a condiciones no restrictivas de la disponibilidad de forraje, la PB sería el factor limitante subsiguiente. La suplementación proteica permite corregir las deficiencias de nitrógeno disponible para las bacterias del rumen permitiendo incrementar las tasas de fermentación de la fibra y extracción de la energía potencial contenida en la misma (Koster *et al.*, 1997, Mathis *et al.*, 2000; Banta *et al.*, 2006). No obstante, para un desarrollo máximo de la flora bacteriana ruminal el nitrógeno y la energía deben estar balanceados y disponibles en los mismos momentos (Heldt *et al.*, 1999; Balbuena *et al.*, 2002; Atkinson *et al.*, 2010b).

Es por esto, que entre la tecnología de procesos de producción secundarios de mayor impacto sobre la producción de carne neta (PCN) en regiones semiáridas, se subrayan aquellas que permitan optimizar el aprovechamiento de FBC, donde la planificación del manejo y balance nutricional de los animales es esencial. En este sentido, se destacan prácticas tales como la planificación de la cadena forrajera (Sprott *et al.*, 2001; Bodine & Purvis, 2003; Janovick *et al.*, 2004; Repetto *et al.*, 2005; Curtis *et al.*, 2008, Lemaire *et al.*, 2009), la suplementación estratégica (Beatty *et al.*, 1994, Moore *et al.*, 1999; Bodine *et al.*, 2000; Farmer *et al.*, 2001; Koster *et al.*, 2002; Farmer *et al.*, 2004; Stalker *et al.*, 2007), el destete precoz (Monje *et al.*, 1976; Short *et al.*, 1996; Myers *et al.*, 1999a y b, Story *et al.*, 2000; Price *et al.*, 2003; Weder *et al.*, 2004; Coffey *et al.*, 2005; Stalker *et al.*, 2007; Hudson *et al.*, 2010), el manejo de la condición corporal (Wright *et al.*, 1992; De Rouen *et al.*, 1994; Spitzer

et al. 1995; Freetly *et al.*, 2000; Ciccioli *et al.*, 2003; Lake *et al.*, 2005; Renquist *et al.*, 2006; Riley *et al.*, 2007), etc.

La utilización de estas prácticas de manera conjunta e integradas, permiten potenciar el resultado final de la PCN de la explotación (Ramsey *et al.*, 2005). Esto se concreta a través del diseño y planeamiento del sistema de producción.

Los sistemas ganaderos son complejos. Si bien suelen estar sujetos a la necesidad de incrementar la rentabilidad, la toma de decisiones del manejo se suele apoyar en criterios adoptados a través del tiempo, con poco o nulo apoyo de análisis de información sistematizada. Por otro lado, si bien en algunas ocasiones, la información aplicada al manejo del predio puede originarse de resultados validados científicamente, su análisis suele ser de manera aislada respecto a su interacción con los demás factores de la producción (Herrero *et al.*, 1999; Ruiz & Oregui, 2001).

El enfoque de sistemas incorpora una base formal para la utilización de herramientas de apoyo a la toma de decisiones que permitan estudiar las interrelaciones de las componentes en sistemas complejos (Bertalanffy, 1976, Cartwright, *et al.*, 1979; Olaizola *et al.*, 1997; Ruiz & Oregui, 2001). A partir de modelos matemáticos de simulación de dichos sistemas, se podría analizar estas interrelaciones en forma de escenarios productivo–económicos, mejorando las decisiones multicriterio (Herrero *et al.*, 1999)

La generación y análisis de información holística de la eficiencia de adaptación de los sistemas a las condiciones agroecológicas de una región, a partir de la tecnología disponible, permitiría incrementar el uso racional de los recursos presentes.

Por tal motivo, nos planteamos, que esta metodología nos permitiría componer un modelo dinámico bioeconómico que representara, a partir de la distribución de la precipitación estacional en la región, la tasa de crecimiento y digestibilidad de los distintos recursos forrajeros en la zona. Posteriormente a través de la definición de distintas pautas de manejo y tecnologías aplicadas a los rodeos se podría estudiar la respuesta de la PCN de distintos sistemas tecnológicos.

Las distribuciones de probabilidad de las precipitaciones y la respuesta de los recursos forrajeros en la zona son desconocidas y por ende fueron determinadas en este estudio. Mientras, para predecir la respuesta animal se podrían integrar las relaciones encontradas entre la precipitación y los recursos forrajeros regionales, con ecuaciones reconocidas por la literatura científica internacional y validadas para sistemas pastoriles, como las del sistema australiano (CSIRO, 2007). Finalmente incorporando bases de datos históricas nacionales de los precios de los productos e insumos utilizados, se podría además, evaluar el resultado económico en los sistemas que residen en esta zona agroecológica determinada.

Sanders & Cartwright (1979 a, 1979 b) destacan que dentro del enfoque sistémico, cada sistema, a su vez, forma parte de otro sistema de mayor complejidad o escala. La creación de un modelo requiere la integración de una gran cantidad de subprocesos y/o otros modelos de escala más pequeña. La conceptualización matemática de los procesos biológicos, físicos, ambientales, económicos en un modelo bioeconómico permite representar los fenómenos que ocurren en un sistema en la realidad (Fox *et al.*, 2005; Hutchings & Nordblom, 2011). Los límites y el nivel de resolución del modelo determinan su capacidad analítica y deben ser definidos conforme a los objetivos del mismo (Joandet & Cartwright, 1975).

Al integrar en la simulación, las tecnologías de los procesos de la producción primaria con los de producción secundaria se podrían investigar y realizar una toma de decisiones más racional del sistema productivo completo. De esta manera, se confiere al análisis del sistema de un mayor realismo y precisión respecto a si se realizara un estudio exclusivamente a partir de modelos de la producción secundaria que utilizaran niveles fijos promedio de disponibilidad y calidad de los forrajes en la zona.

Mediante la obtención del gran número de resultados factibles que permite la simulación, se lograría determinar las distribuciones esperadas de probabilidad de la PCN y el resultado económico. Se podría comparar estadísticamente las diferencias entre las FDP obtenidas para cada variable y distintos diseños tecnológicos, y evaluar los sistemas desde aspectos relacionados a su sustentabilidad y riesgo asociados a la utilización de dichas tecnologías.

En otras regiones, los estudios mediante el desarrollo de modelos de simulación de los sistemas de producción adaptados a sus características edafoclimáticas, ha permitido avanzar en el conocimiento de estos y la evaluación de distintas estrategias tecnológicas integradas, con resultados sumamente alentadores (Pomar *et al.*, 1991; Romera *et al.*, 2004; Rotz *et al.*, 2005a; Phillips *et al.*, 2009).

En una segunda instancia, indagamos que el impacto potencial del CCG sobre la distribución de precipitación en la región debería incorporar modificaciones en las respuestas de las alternativas tecnológicas de los sistemas bajo estudio respecto a las que se observan bajo la acción del clima actual. Esto se podría estudiar a partir del modelo bioeconómico propuesto. Dado que el mismo, consideraría el crecimiento y el valor nutricional de los recursos forrajeros en su relación con la precipitación estacional, se podrían realizar experimentos de simulaciones de largo plazo, considerando los efectos de los cambios en las condiciones climáticas sobre dicha variable y posteriormente evaluar su efecto sobre el consumo y el comportamiento productivo de los animales.

Diversos autores señalan que el incremento previsto de la temperatura global entre 1,4 °C y 5,8 °C para el año 2100, introduciría efectos agudos, crónicos y evolutivos en la producción agrícola y animal (UNFCCC, 2005; Parmesan, 2006; Challinor *et al.*, 2007; Beauchemin *et al.*, 2010; Parr *et al.*, 2010; Beauchemin *et al.*, 2011; Capper, 2011; Capper, 2012; Dumortier *et al.*, 2012). Por tal motivo, la generación de este conocimiento en el área de estudio, nos permitiría adicionar al análisis, la evaluación de estrategias tecnológicas de mayor eficiencia y sustentabilidad no solo actual, sino también en cuanto a su capacidad de mitigar el impacto de los cambios en la precipitación esperados en el futuro.

Los motivos aquí comentados dieron origen a las siguientes hipótesis y objetivos específicos.

Hipótesis 3a: *La distribución de probabilidad histórica de la precipitación estudiada a partir de la Hipótesis 2a, determinaría un elevado nivel de riesgo productivo de las empresas de bajo nivel tecnológico como son las modales. En su interacción con la volatilidad de precios de los productos e insumos utilizados, determinarían también un alto riesgo económico de las mismas. Ambos riesgos podrían disminuirse significativamente, mediante la adopción de sistemas más tecnificados, que integren tecnología adaptadas a regiones semiáridas.*

Hipótesis 3b: Los cambios esperados en los patrones probabilísticos futuros de las lluvias estudiados en la Hipótesis 2b, derivarían en un incremento de los riesgos de producción y económicos de las empresas agropecuarias que continúen con las tecnologías de producción modales, respecto a las que adopten un mayor nivel de tecnificación.

Objetivo específico 3a: Desarrollar un modelo de simulación bioeconómico para analizar el comportamiento productivo de los sistemas ganaderos del área de estudio, en respuesta a la distribución de las precipitaciones específica de esta zona. A partir del modelo, determinar el riesgo productivo y económico actual del sistema modal de la región caracterizado por un bajo nivel tecnológico, respecto a uno propuesto para mejorar la sustentabilidad regional, de alta tecnología.

Objetivo específico 3b: En función del modelo desarrollado, analizar el impacto del cambio climático previsto en la Hipótesis 2b, sobre el riesgo productivo y económico de los dos sistemas tecnológicos bajo estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Metodologías para validar la Hipótesis 1.

2.1.1. Datos y sitios de registro utilizados.

La variable indiscutida bajo estudio en esta hipótesis es la precipitación. Para tal fin, a través de la red del sistema de extensión de la Agencia INTA Bahía Blanca y Cnel Rosales se realizó un trabajo previo de identificación y relevamiento dentro del área de estudio, de la existencia de registros históricos de precipitación en establecimientos productivos, de estaciones meteorológicas de la Universidad Nacional del Sur, del INTA, de la Armada Argentina, de la red ferroviaria y del Servicio Meteorológico Nacional. Los datos fueron exhaustivamente controlados, verificando que los datos se encontraran dentro de su intervalo del confianza esperado (95%), por este motivo no todos los registros relevados fueron utilizados. Se seleccionaron para este trabajo solamente 10 series pluviométricas empleando los valores mensuales desde 1970 a 2011, que manifestaron una alta consistencia en su estructura de datos (Tabla 1). En la Figura 4 se muestra la ubicación de los sitios seleccionados.

Tabla 1. Sitio de registro pluviométrico, ubicación geográfica, precipitación media anual, altimetría y distancia a la costa.

Registro	Latitud (S)	Longitud (O)	Precipitación media anual (mm)	Altura (m s.n.m.)	Distancia a la Costa (km)
Bahía Blanca	38.45	62.14	649,8	75	27
Cabildo	38.33	61.53	644,9	157	55
Alfárez San Martín	38.41	62.28	616,8	40	68
Las Oscuras	38.48	61.44	630,7	77	19
Pehuen-Co	39.08	61.36	708,7	17	6
Paso Mayor	38.43	61.46	677,3	93	36
Bajo Hondo	38.53	61.57	705,9	92	25
Carrindanga Norte	38.36	62.05	749,5	213	61
Bajo San Jose	38.39	61.52	660,9	123	54
Naposta Norte	38.31	62.17	682,2	218	65

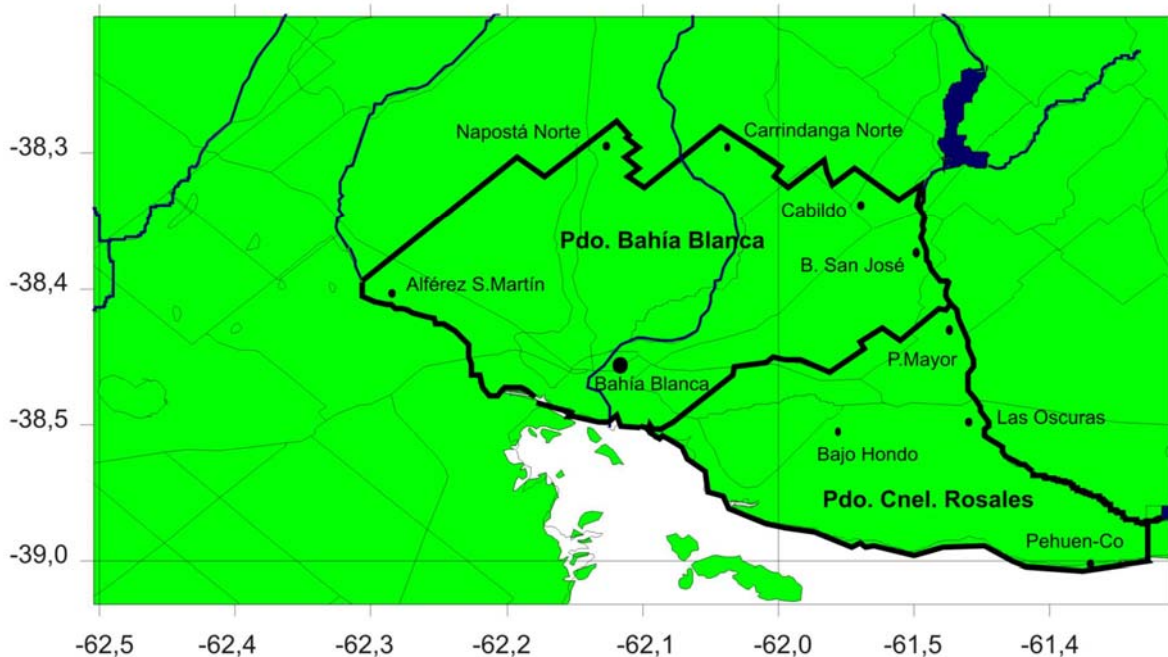


Figura 4. Ubicación de los registros pluviométricos dentro del área de estudio.

2.1.2. Determinación de las FDP de la precipitación acumulada estacional y anual.

El análisis de riesgo climático de la precipitación requiere la determinación de las FDP de ajuste al comportamiento de esta variable en un sitio determinado, sobre la base de datos históricos de precipitaciones por períodos superiores a los 30 años.

Las variables estudiadas en esta hipótesis fueron la precipitación acumulada estacional y en forma anual.

Se reconoce que en la mayoría de los casos la variable precipitación no se distribuye normalmente para periodos diarios, mensuales y estacionales. Si no más bien se comporta de manera asimétrica, sesgada hacia el extremo positivo y restringida físicamente a ser no negativa hacia la izquierda. Mientras, en la medida que la misma se analiza de manera acumulada en periodos superiores a un año se observa que tiende a adquirir una distribución normal.

La literatura menciona que las funciones matemáticas que mejor ajustan a su distribución mensual y estacional son: la función teórica Gamma, log-normal, raíz cúbica o Gamma incompleta (Hargreaves, 1960; Wilks, 1995; Scian et al., 2006). Asimismo se reconoce que la función Gamma es una de las de mejor ajuste al comportamiento de la pluviometría de las regiones semiáridas (Forte Lay et al., 1984; Young, 1992, Briggs & Wilks, 1996, Lloyd-Hughes, 2002).

La determinación de las FDP empíricas de la precipitación estacional y anual de todos los registros pluviométricos se realizó a través del método de mínimos cuadrados sobre los datos históricos observados. Las mismas se testearon respecto al supuesto de normalidad mediante los test de normalidad de Shapiro Wilks modificado (S-W) (Shapiro *et al.*, 1972; Mahibbur *et al.* 1997) y de bondad de ajuste de Kolmogorov- Smirnov (K-S) (Wilks, 2006).

La distribución normal o gaussiana a excepción de los casos específicos mencionados, es una de las distribuciones de probabilidad de variables continuas que aparece con mayor frecuencia en diversos fenómenos reales.

Una variable aleatoria continua X sigue una distribución normal de parámetros μ y σ y se denota $X \sim N(\mu, \sigma)$, cuando FDP está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, x \in \mathfrak{R}, \quad (\text{Ec.1})$$

Donde el parámetro de centralización μ es estimado a través de la media aritmética de una muestra y σ , parámetro de dispersión es estimado por la Desviación estándar (DST).

Cuando el supuesto de normalidad fue rechazado, se testeó el ajuste a distintas funciones asimétricas alternativas a través de la prueba de bondad de ajuste de K-S que presenta un alto grado de confiabilidad cuando el ajuste es satisfactorio (Wilks, 2006).

La distribución Gamma es asimétrica y resulta adecuada para las variables cuyo límite inferior es cero. La FDP de esta distribución se expresa:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (\text{Ec. 2})$$

Siendo $\alpha, \beta > 0$; en donde α es un parámetro de forma y β es un parámetro de escala. Estos parámetros se pueden estimar mediante la aproximación de Thom (1958) de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (\text{Ec.3 a})$$

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln x}{n} \quad (\text{Ec.3 b})$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (\text{Ec.3 c})$$

Donde x es el valor medio de la variable aleatoria. Cuando la precipitación toma valores nulos la aproximación sigue un procedimiento diferente; se calcula una función de distribución mixta compuesta por una función de probabilidad para los valores nulos y otra para los valores no nulos de la variable aleatoria.

Si m es el número de los valores nulos, se acepta que la probabilidad de que la precipitación mensual sea igual a cero es $q=m/n$ y la probabilidad de que sea superior a cero $p=1-q$. En estos casos, la función de distribución de la serie está dada por:

$$H(x) = q + p * G(x) \quad (\text{Ec. 4})$$

En donde $G(x)$ es la función de distribución de los $N - m$ términos distintos de cero de la serie.

2.1.3. Normalización y estandarización de la precipitación para el estudio de anomalías.

Para el estudio de anomalías extremas húmedas y secas a partir de la información anterior, se calculó el Índice Estandarizado de Precipitación (standardized precipitation index, IPE) debido a su amplia utilización en climatología. Se entiende por anomalía a la desviación del valor mensual observado respecto del valor promedio de cada mes en el período de estudio.

Este índice es ampliamente aceptado a nivel mundial y diversos autores lo incluyen en sus estudios (Scian, 1999; Seiler *et al.*, 2002; Almeida *et al.*, 2005). En Argentina, el Servicio Meteorológico Nacional se encuentra utilizando esta herramienta para caracterizar la climatología de la sequía a nivel país (Núñez *et al.*, 2005). Asimismo, el IPE presenta una alta correlación para la región semiárida pampeana con los demás índices climatológicos de mayor relevancia para la detección de sequía: Porcentaje de Precipitación Normal, Método de Deciles, Índice de Anomalías de Humedad e Índice de Sequía Palmer, una vez definida una escala apropiada (Scian, 1997).

El IPE se determina a partir del ajuste de una serie de precipitación original a la FDP teórica gamma y posteriormente se realiza la transformación en una distribución normal estandarizada con media 0 y desvío standard igual a la unidad, $N(0,1)$. La definición del IPE para un dato respectivo de precipitación consiste en la probabilidad acumulada de ese valor de precipitación sobre la función gamma. Conservando la equiprobabilidad, se halla posteriormente la normal inversa del valor de la desviación de la precipitación, respecto a una distribución de probabilidad acumulada normal.

El proceso de cálculo aplicado al IPE (Mackee *et al.*, 1993), se realiza sobre una serie de precipitaciones mensuales continua de un mínimo de 30 años, obteniéndose nuevas series, donde cada dato mensual es reemplazado por el total acumulado de los $t-1$ meses anteriores que incluyen al presente mes. Los periodos en estudio son las variables y “ t ” es un parámetro que puede fijarse en 1, 3, 6, 12, x... meses, las cuales se asocian a la siguiente escala de clasificación de extremos húmedo-secos que se expone en la Tabla 2.

Una de las ventajas más importantes de este índice, es que permite cuantificar las condiciones de déficit o exceso de precipitación en un sitio dado, en escalas variables de tiempo, generalmente entre 1 y 24 meses. Lo anterior, lo hace apto para el estudio de sequía cortas importantes para la agricultura (a partir de la escala 1 a 3 meses) o muy prolongadas relevantes para estudiar la disponibilidad de agua subterránea, la escorrentía (escala 3 a 6 meses) y los niveles de lagos o reservorios de agua (escala 6 a 24 meses).

Tabla 2. Clasificación de condiciones hídricas según el Índice de Precipitación Estandarizado

IPE	Categoría
>2.0	Humedad extrema
1.99 a 1.5	Humedad severa
1.49 a 1.0	Humedad moderada
0.99 a 0.5	Humedad débil
0.49 a -0.49	Condiciones normales
-0.5 a -0.99	Sequía débil
-1.0 a -1.49	Sequía moderada
-1.5 a -1.99	Sequía severa
< -2.0	Sequía extrema

Fue desarrollado con la finalidad de determinar cuantitativa y funcionalmente las sequías meteorológicas y su monitoreo según la escala temporal. La “sequía meteorológica” se encuentra determinada por únicamente la variable precipitación, sin considerar otro tipo de variables como la temperatura y las variables del suelo.

Las categorías de las anomalías se establecen según su severidad (Tabla 2) para todo t.

Se considera que la deficiencia de precipitación es suficiente para determinar una sequía meteorológica cuando el IPE alcanza el valor -1 ó menor. El valor alcanzado determina la severidad y en cuanto a la duración, el inicio de un periodo seco se define cuando el mismo se hace negativo por primera vez y finaliza cuando se torna positivo. Mientras la magnitud, es la desviación media respecto al déficit medio acumulado durante el periodo de sequía (Gibbs, 1965; Beran 1979 y 1989; Dracup *et al.*, 1980 a y b). La magnitud se rige por unidades de meses y sería equivalente a la duración si todos los meses tuvieran un IPE de -1,0.

A nivel de este estudio se adoptó la escala mensual (IPE1) y trimestral (IPE3) por ser la de mayor utilización y reconocimiento agronómico en la bibliografía.

2.1.4. Diseño del experimento y análisis estadístico.

Las variables analizadas fueron: la precipitación acumulada anual, la precipitación acumulada de las cuatro estaciones del año: verano (DEF), otoño (MAM), invierno (JJA) y primavera (SON), y el valor del IPE1 como indicador de las anomalías de la precipitación. Mientras los tratamientos estudiados estuvieron definidos por cada uno de los sitios geográfico dentro del área de análisis (10 sitios). Cuando la variable cumplió los supuestos de normalidad y homocedasticidad, los efectos medios de los tratamientos fueron analizados con un ANOVA en diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), donde los bloques correspondieron a cada año específico desde 1970 a 2011 obteniéndose respectivamente 42 réplicas por sitio (n=42). El diseño BCA fue adoptado debido a que se encontraron efectos de bloque dado por los años ($p < 0.001$) en exploraciones previas. Cuando se encontraron diferencias significativas entre los sitios, las medias fueron comparadas por el test de Duncan, utilizando un nivel de significancia del 5% con el programa estadístico InfoStat (Di Renzo *et al.*, 2012).

Un importante problema a tener en cuenta antes de aplicar cualquier test estadístico, es que muchos de los mismos son de aplicación válida solamente si la FDP de la variable continua sigue una distribución normal. Caso contrario, se debe recurrir a los test no-paramétricos de significancia estadística, los cuales son independientes de la forma de distribución de la variable en cuestión.

Por esta razón, cuando el supuesto de normalidad no se cumplió, se utilizó análisis de la varianza no-paramétrica, de diferencias de mediana de Kruskal Wallis (K-W) con un nivel de significancia del 5% (InfoStat). Cuando se encontraron diferencias significativas las medianas fueron comparadas por el test de comparaciones múltiples de medianas (Conover, 1999).

Para el estudio de las anomalías (IPE1) se construyó una tabla de contingencia por sitio y año según la intensidad de anomalía (Tabla 2). Dado que en las tablas de frecuencia de ocurrencia de las anomalías más extremas ($\geq \pm 2\sigma$) los casos eran poco numerosos y un test de medianas como K-W disminuye su confiabilidad frente a esta situación, se utilizó la prueba no paramétrica de Friedman que permite a través de un diseño en bloques completos al azar un análisis a dos colas de las medias de dos o más poblaciones (FDP).

Las tendencias lineales de los registros de precipitación de cada sitio para la escala de tiempo anual y estacional fueron estudiadas mediante análisis de tendencia por regresión lineal (Drapper et al., 1998; Guerrero et al., 2000). Se compararon todos los pares de rectas de cada sitio, en cuanto a su pendiente y ordenadas de origen por la prueba *t Student* (5%) utilizando los algoritmos desarrollados por Winzer y Camina (2007b)¹. Mientras las varianzas de los pares de rectas se compararon por la prueba F también al 5% de significancia (InfoStat).

2.1.5. Regionalización de los sitios por análisis de conglomerados.

Las diferencias estadísticas encontradas en el comportamiento de las variables evaluadas entre los sitios, fueron estudiadas a través de análisis multivariado de conglomerados o clusters (Hartigan et al., 1981), a fin de determinar el grado de semejanza progresiva entre sitios. El mismo fue aplicado a través de la determinación de la distancia euclídea por encadenamiento promedio entre los sitios (columnas) a partir de los vectores compuestos por las variables evaluadas (filas).

2.2. Metodología para validar la Hipótesis 2.

2.2.1. Estudio del impacto del CCG sobre la distribución de la precipitación histórica de la región: definición de la serie temporal y los periodos de contraste.

Para el estudio de los efectos de CCG sobre la precipitación del área de estudio se utilizó el registro de precipitación de mayor longitud y confiabilidad, correspondiente al Servicio Meteorológico Nacional para Bahía Blanca, desde 1860 hasta 2011 con una duración de 152 años (Tabla 1).

Para la evaluación de puntos de inflexión en el comportamiento histórico de la precipitación y la posterior determinación de los periodos de contraste, se realizó un análisis de tendencias lineal, por promedios móviles de 11 periodos y de tipo

¹ Planilla de cálculo: Reg_2.xls y Ancova.xls, desarrolladas sobre Microsoft Excel ©

polinómicas de cuarto orden. Se seleccionaron las tendencias por promedios móviles de 11 periodos y polinómicas de cuarto orden, ya que la primera permite suavizar la variación de la precipitación en una escala análoga a la decanual, más 1 periodo para cumplir el propósito de escalas impares. La tendencia polinómica se llevó a cuarto orden debido a que en exploraciones previas manifestaba los mismos cambios de pendientes que las de órdenes superiores, pero con un menor grado de complejidad de cálculo.

Complementariamente, se analizó la literatura científica existente relacionada a la determinación de puntos de inflexión históricos de distintos escalones en el fenómeno de calentamiento global. A partir de ambos análisis, se encontró mayor congruencia en utilizar el año 1960 como punto de inflexión inicial en el incremento de la tasa de calentamiento global (Compagnucci *et al.*, 1998; Labraga *et al.*, 2002; Mo, 2000; Agosta *et al.*, 2008)

Por tal motivo, se compararon los efectos medios de la precipitación del periodo iniciado el 1 de enero 1860 al 31 de Diciembre de 1960 respecto al 1 de enero 1961 al 31 de Diciembre de 2011.

2.2.2. Estudio de prospectiva futura de la evolución del CCG y sus efectos sobre la precipitación de la región: metodología de pronóstico, modelos utilizados y base de datos.

Para el estudio de las señales del CCG sobre la precipitación en el área de estudio en el futuro cercano, se construyó un ensamble² de modelos mediante interpolación bilineal ajustada a las coordenadas geográficas de Bahía Blanca, a partir de 8 de los principales MCG de la atmósfera de mayor relevancia actual (Tabla 3).

² Este ensamble se realizó en labor conjunta con el Lic. Carlos Zotelo (del Area de Climatología del Centro de Recursos Naturales Renovables de la Zona Semiárida- CERZOS Bahía Blanca - CONICET).

Tabla 3. Modelos de Circulación Global de la Atmósfera utilizados en el ensamble regional desarrollado, institución originadora, cuadrícula de resolución espacial y referencia bibliográfica.

Modelo	Institución (país)	Resolución (°lat x °lon)	Referencia
CGCM3.1 (T63)	Canadian Center for Climate Modeling and Analysis (Canadá)	Atm: T63 (~1.9°x1.9°) Oce : 0.9°x1.4°	Flato (2005)
CSIRO-MK3.0	CSIRO Atmospheric Research (Australia)	Atm: T63 (~1.9°x1.9°) Oce: 0.8°x1.9°	Gordon <i>et al.</i> (2002)
INM-CM3.0	Institute for Numerical Mathematics (Rusia)	Atm: 5°x4° Oce: 2°x2.5°	Volodin <i>et al.</i> (2004 y 2010)
IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace (Francia)	Atm : 2.5°x3.75° Oce : 2°x2°	Marti <i>et al.</i> (2005)
MIROC3.2 (hires)	Cent. for Clim. Sys. Res, Univ of Tokyo, Nat. Inst. for Envir. Studies & Frontier Res. Cent. For Global Change (Japón)	Atm: T101(~1.1°x1.1°) Oce: 0.2°x0.3°	Hasumi <i>et al.</i> (2004)
MIROC3.2 (medres)	Cent. for Clim. Sys. Res, Univ of Tokyo, Nat. Inst. for Envir. Studies & Frontier Res. Cent. For Global Change (Japón)	Atm: T42 (~2.8°x2.8°) Oce: 0.5°-1.4°x1.4°	Hasumi <i>et al.</i> (2004)
MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute (Japón)	Atm: T42 (~2.8°x2.8°) Oce: 0.5~2°x2.5°	Yukimoto <i>et al.</i> (2002 y 2011)
UKMO HadGEM1	Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met Office (Reino Unido)	Atm: ~1.3°x1.9° Oce: 0.3°-1°x1°	Johns <i>et al.</i> (2006)

El ensamble de MCG de baja resolución fue anidado al MCR: Weather Research and Forecasting Model (WRF) versión 3.4.1 de dinámica no hidrostática, lo cual permite conferir a la modelación del clima una muy alta capacidad para representar fenómenos con muy pocos kilómetros de resolución (Zhang *et al.*, 2002; Saulo *et al.*, 2003; Skamarock *et al.*, 2005; Saulo *et al.*, 2008; Ruiz *et al.*, 2009). Este modelo fue inicialmente desarrollado en un proyecto colaborativo entre las siguientes instituciones: National Center for Atmospheric Research, National Oceanic and Atmospheric Administration, Forecast Systems Laboratory, Air Force Weather Agency, Naval Research Laboratory, University of Oklahoma y Federal Aviation Administration. Es un modelo de uso libre, que ha sucedido al modelo regional MM5 y que en la actualidad es utilizado por numerosos centros de pronóstico climático de más de 130 países.

Una característica importante de los ensambles de modelos es que permiten la generación de pronósticos cuantitativos de precipitación en términos probabilísticos con una mejor representación del clima que la utilización de modelos de forma aislada, (Toth *et al.*, 1993; Du *et al.*, 1997; Hamill, 1999; Ebert, 2001; Zhu *et al.*, 2002; Stensrud & Yussouf, 2007).

WRF utiliza las siguientes parametrizaciones de las variables climáticas: a) el esquema convectivo de Grell (Grell *et al.*, 1993 ayb); b) la representación de la capa límite planetaria del esquema MRF de Hong *et al.* (1996); c) los procesos en

superficie representados por el Noah Land surface Model (Chen *et al.*, 2001); d) las tendencias de humedad por el esquema Simple Ice (Hsie *et al.*, 1984), e) la radiación incidente por Cloud Radiation (Stephens, 1978 y 1984; Garrand, 1983), f) las propiedades de uso del suelo y la vegetación por la base de datos USGS (U.S. Geological Survey) de vegetación. Estos esquemas lo posicionan en la actualidad como muy sofisticado por incluir las interacciones entre longitud de onda larga y corta con nubes explícitas y aire claro, definir las tendencias de las temperaturas atmosféricas y brindar los flujos radiactivos de superficie.

El modelo WRF fue forzado por el ensamble de MCG para generar la simulación para el periodo comprendido entre el 1 de Enero de 1961 al 31 de Diciembre de 2050, a partir de los supuestos de emisión del escenario de cambio climático A2. Para esto, el modelo se inicio el 1 de enero de 1960, ya que el primer año simulado no se considera en el análisis (spin-up) (Christensen, 1999), debido a que se utiliza como periodo de estabilización de las variables del suelo provenientes del Noah Land surface Model.

La escala utilizada de la salida del modelo regional fue calibrada por coeficientes fijos de amplificación a la escala local (Raftery *et al.*, 2005; McLean *et al.*, 2007; Saulo *et al.*, 2008). El dominio de la integración cubrió la zona de estudio con una resolución de 25 x 25 km, representando las interacciones de la circulación global de gran escala con la circulación local.

El ensamble de MCG permite incorporar al modelo regional las condiciones de borde atmosféricas de gran escala (altura geopotencial, la humedad relativa, la temperatura, las componentes zonal y meridional de viento) que simula a partir de ecuaciones empíricas de acople atmósfera-océano, desarrolladas en función de registros observados de las condiciones de la atmósfera, de la temperatura de la superficie del mar y la distribución de hielo marino (Rayner *et al.*, 2003)

Los datos de la simulación se particionaron en el periodo ya transcurrido 1960-2011 para realizar la validación del ensamble y el periodo 2012-2050 para el estudio de prospectiva. A partir de las salidas de la simulación se determinaron las FDP de la distribución de las lluvias de la región para cada periodo, respectivamente.

2.2.3. Validación del ensamble.

Para la validación del ensamble se evaluó la capacidad del mismo para predecir los datos históricos observados. En función de que las salidas del mismo están constituidas por FDP de la variable precipitación, se compararon dichas FDP del periodo 1961-2011 modelada, respecto de la observada en la serie histórica del mismo periodo. Dado la ausencia de normalidad de las funciones se aplicó la prueba estadística de K-W al 5% de significancia. Asimismo se complementó el examen con un análisis de correlaciones de ambas funciones.

2.2.4. Diseño del experimento y análisis estadístico.

Se estudiaron las variables precipitación acumulada anual y la acumulada para cada estación del año verano, otoño, invierno y primavera.

El diseño del experimento tuvo por objetivo la comparación de la distribución de las lluvias entre cada periodo intertemporal. Por este motivo los tratamientos quedaron determinados por las FDP de la precipitación en cada periodo.

Para el estudio del impacto del CCG sobre las lluvias en la zona de estudio hasta el presente, los tratamientos comparados fueron los periodos 1860-1960 (n=101) respecto a 1961-2011 (n=51). Mientras que para el análisis del impacto del CCG sobre las lluvias en el futuro cercano se contrastaron los periodos anteriores históricos, respecto al periodo simulado: 2012-2050 (n=39) una vez validado el ensamble sobre el periodo 1961-2011 (n=51).

Se comprobó el cumplimiento de los supuestos de normalidad (S-W) y heterocedasticidad (F) de las FDP de cada tratamiento. Como el supuesto de normalidad fue rechazado en algunos periodos, la comparación de los efectos medios de cada uno de ellos se realizó mediante análisis de la varianza no paramétrica por la prueba de K-W con un nivel de significancia del 5%. Cuando se compararon más de dos medianas y se encontraron diferencias significativas se aplicó para diferenciarlas, el test de comparaciones múltiples (Conover, 1999).

2.3. Metodología para validar la Hipótesis 3.

2.3.1 Diseño del modelo bioeconómico.

Para el estudio del riesgo productivo y económico de los sistemas ganaderos regionales en función de la distribución de la precipitación actual y esperada bajo la influencia futura del CCG se construyó un modelo de simulación ganadero bioeconómico, que se denominó Modelo Bahía Blanca–Cnel. Rosales (MBBCR).

El modelo simula la dinámica de producción de un sistema ganadero bovino en sus tres componentes: cría, recría e internada. MBBCR es un modelo dinámico ya que las variables son funciones del tiempo, permitiendo predecir su desarrollo en un periodo dado. Posee un módulo estocástico a partir del muestreo aleatorio de la distribución estacional de la precipitación en la región. La simulación de la PPN y la respuesta animal es de tipo determinística dado por la utilización de ecuaciones de tipo mecanísticas y empíricas (Tobías *et al.*, 2006).

MBBCR se estructuró a partir de algoritmos sistematizados en Microsoft Excel, con algunas componentes integradas a Cristal ball versión 7.3.1, para la generación de funciones y procedimientos iterativos estocásticos a partir de simulación Monte Carlo. A través de esta generación de réplicas, el modelo permite obtener resultados probabilísticos de las variables involucradas en el mismo.

El modelo se actualiza al intervalo de tiempo estacional: DEF, MAM, JJA y SON. El horizonte de simulación fue de 10 años, pero el modelo registra los resultados ocurridos en el año 10. Este plazo permite asegurar la cuantificación de los resultados alcanzados en un sistema estabilizado, luego de la influencia sobre los stocks iniciales del año 1, de la evolución de los procesos biológicos y reglas de decisión dinámicas durante 10 ciclos productivos consecutivos, en función de las condiciones climáticas de la región de estudio en este horizonte de tiempo.

El modelo se encuentra ordenado en los siguientes programas:

2.3.2. Programa principal: Esta rutina integra a través de algoritmos las bases de datos de entrada, las subrutinas dinámicas y los resultados de salida.

2.3.3. Base de datos de entrada: En este archivo se definen los datos y parámetros constitutivos del sistema a simular.

- a) Recursos Forrajeros: Se encuentran definidos las especies, cultivares y superficie de los recursos forrajeros de cada sistema.
- b) Suplementos: Registra los stocks iniciales del establecimiento de los suplementos zonales utilizados (grano de avena, pellet de girasol y rollos) y su calidad nutricional: porcentaje de MS, DMS, PB y EM. Para las calidades de los alimentos zonales se utilizó la base de datos de la Agencia de Extensión INTA Bahía Blanca proveniente de muestreos en los establecimientos de la zona, los cuales fueron determinados en el Laboratorio de Análisis Nutricional de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Bordenave.
- c) Animales: Incorpora los datos concernientes al rodeo vacuno: raza, categorías, edad inicial y stock iniciales.
- d) Tecnología y pautas de manejo de cada sistema: Incluye la información referida a las tecnologías de procesos utilizadas, reglas de decisión y prácticas de manejo del sistema productivo tales como: periodos de pastoreo de cada recurso forrajero según categoría (cadena forrajera); edad o peso al primer entore, periodo de servicio, tipo y fecha de destete; peso, edad o fecha de terminación deseada de la categorías animales de venta; periodo y categoría animal a asignar suplementación; tipo y cantidad de suplementos; tasa de retención anual de machos para recría e invernada y de hembras de retención.
- e) Precios de los productos y costos de producción: Contiene las FDP de los precios de venta del kilogramo de las distintas categorías bovinas, costos unitarios de los insumos utilizados, gastos y servicios contratados y los capitales zonales. Estas FDP fueron determinadas previamente a partir de las frecuencias de ocurrencia observada en las series históricas (1980-2011) de dichos precios recavadas y actualizadas por la Cátedra de Gestión Agropecuaria del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur. Esta base de datos, se encuentra confeccionada a partir del registro de precios corrientes mensuales de publicaciones nacionales de precios de productos en insumos agropecuarios reconocidas (Revistas CREA- Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola, Marca Líquida) como así también del Mercados de Liniers. Previo a la determinación de las FDP los precios corrientes promedio de cada año se llevaron a moneda constante de Diciembre de 2011 a través del Índice de Precios Mayorista del INDEC.

2.3.4. Subrutinas dinámicas: son subprogramas que resuelven ecuaciones que simulan los procesos biológicos, físicos o económicos que representa el modelo. Las subrutinas confeccionadas fueron las siguientes:

a) Subrutina precipitación bajo las condiciones atmosféricas del clima actual (PPa):

Este subprograma define la precipitación total acontecida en las condiciones atmosféricas actuales para cada estación calendario (mm estación⁻¹). La misma se

calcula por muestreo aleatorio a partir de la FDP gamma de cada estación, para la localización geográfica de Bahía Blanca, determinadas en el estudio que suscitó la Hipótesis 2a. En una calibración inicial del modelo se chequeó la correlación de la precipitación entre cada par de estaciones sucesivas con el objeto de identificar posibles relaciones de autocorrelación entre estaciones continuas. Como las mismas, entre todos los pares analizados, manifestaron un $r < 0,5$; se desechó esta posibilidad.

b) Subrutina precipitación bajo las condiciones atmosféricas según las señales de CCG en el futuro cercano (PPc):

De manera análoga a la subrutina PPa, calcula los mm estación⁻¹ pero bajo las condiciones atmosféricas esperadas en el futuro bajo el efecto del CCG. Las mismas se determinan por muestreo aleatorio sobre la FDP estacionales, obtenidas por el ensamble en el estudio de la Hipótesis 2b.

c) Subrutina PPN y calidad nutricional de los recursos forrajeros regionales:

La PPN estacional de los forrajes, se determinó por ecuaciones de la respuesta de los principales recursos a la precipitación estacional, desarrollados por análisis de regresión a partir de dos experimentos de campo llevados adelante en la zona de estudio.

El trabajo experimental se replicó en dos sitios, en las localidades de Bahía Blanca y Cabildo de manera continua desde el año 2005 al 2011 en las unidades demostrativas del INTA Bahía Blanca en los establecimientos El Trébol (38° 31' 18,5'' S / 61° 55' 36,9'' O) y Los Mirasoles (38° 43' 26'' S / 62° 07' 12,7'' O).

Los sitios de ensayo se seleccionaron sobre dos sitios planos compuestos por vegetación nativa predominante por la especie *Stipa tenuissima*. El suelo, en ambos sitios respondió al Subgrupo Ustipsament petrocálcico (USDA, 1999) predominante de esa zona.

El análisis de suelo en el sitio Cabildo arrojó los siguientes parámetros: pH: 6,85; 9 ppm de fósforo extractable (Bray y Kurtz N°1) y 1,76% de materia orgánica; y tuvo como antecesor un cultivo de trigo. Mientras el sitio Bahía Blanca: pH: 7,02; 11 ppm de fósforo extractable (Bray y Kurtz N°1) y 1,91% de materia orgánica; y tuvo como antecesor un cultivo de avena pastoreo.

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres réplicas. Los tratamientos estuvieron constituidos por una especie y cultivar más utilizados en la zona para cada tipo de recurso forrajero (verde de invierno, verde de verano, pastura perenne C₄ y C₃, y especie nativa predominante en campo natural), respectivamente: *Avena sativa* cv Cristal, Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701, *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees cv. Tanganyika, *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA y *Stipa tenuissima*. Se utilizaron unidades experimentales de 4 m².

Las unidades experimentales de *Stipa tenuissima* se constituyeron sobre el pastizal nativo. Las parcelas de *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA se sembraron el 3/6/2005 con una densidad de 20 Kg. ha⁻¹ y *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees cv. Tanganyika, el 2/9/2005 con una densidad de 3 Kg. ha⁻¹. Las unidades experimentales de *Avena sativa* cv Cristal, Sorgo forrajero híbrido cv. VDH

701 fueron sembradas anualmente en el caso de la primera en la primer quincena de febrero (65 Kg. ha⁻¹) y en el caso del sorgo en la segunda quincena de octubre (12 Kg. ha⁻¹).

Las parcelas fueron sembradas con una sembradora manual monosurco con control de profundidad y rueda compactadota. Se realizaron a una distancia entre líneas de 25 cm., se empleó semilla con un valor cultural superior al 60% y fueron desmalezadas mecánicamente en la primavera y otoño de cada año. El 2/12/2005 se realizó un corte de limpieza de todas las parcelas y se dio por iniciado el ensayo en cada sitio

La PPN acumulada de cada estación fue estimada, a través del muestreo de 1 m² de cada unidad experimental al final de cada estación que se cortó con tijera de esquilar manual a una altura de 8 cm. Las muestras de forraje fueron secadas en estufa a 60°C durante 72 hs y posteriormente pesadas. La metodología de corte Estimación de la producción de MS descrita se repitió hasta el final del ensayo el 30/11/2012. De cada muestra se extrajeron durante cuatro ejercicios, submuestras que fueron enviadas al Laboratorio de Calidad Nutricional de Alimentos de la EEA INTA Bordenave para la determinación de los parámetros de calidad medios: porcentaje de MS, DMS, PB y EM.

La precipitación estacional acumulada de cada estación calendario, se determinó a partir del registro diario de esta variable por estación meteorológica ubicada en el casco de cada establecimiento a una distancia de 100 m del ensayo.

Los datos de PPN de cada especie, sitio, año y estación, a partir de los cuales se realizó el análisis de regresión se exponen en el anexo I.

Las relaciones entre la precipitación y PPN estacional de cada recurso (n=3) fueron estudiadas mediante modelos de regresión lineal y no lineal utilizando el algoritmo de Marquardt–Levereng (Marquardt, 1963). Asimismo, en los casos donde fue posible se definieron los valores críticos en los modelos no lineales en el punto donde la primera derivada fue inferior a 0,01. Se seleccionó este valor debido a que se encuentra próximo a cero, valor matemático que corresponde a un punto crítico de la función (Goldstein *et al.*, 1980; Seber & Wild, 1989). Estos procedimientos se realizaron con los software Infostat (Di Renzo *et al.*, 2011) y Curve Expert 1.38 (Hyams, 2005).

La cantidad de Forraje Disponible (FD) para el consumo animal se determinó por la sustracción a la PPN, de las pérdidas por pisoteo, embarrado, bosteo de los animales y senescencia natural del forraje. Estas pérdidas fueron estimadas en un 20% de la PPN estacional del forraje para el pastoreo rotativo y en un 45% para el pastoreo continuo (Edmond *et al.*, 1963; Quin *et al.*, 1970; Brown *et al.*, 1973; Curll & Wilkins, 1983; Wilkins & Gardwood, 1986; Fisher *et al.*, 1991). El FD fue expresado a nivel diario mediante interpolación segmentaria, para los cálculos de la subrutina respuesta animal (d).

d) Subrutina respuesta animal:

Para los cálculos relacionados a la evolución de las ganancias de peso (GDP) de los animales se utilizó como base los algoritmos desarrollados en Australia por CSIRO (2007). Esta publicación, derivada del esquema propuesto por el Standing Committee on Agriculture, Ruminants Subcomité (SCA, 1990) es una actualización de la información generada en los 17 años posteriores de investigación de sistemas

de producción animal, principalmente pastoriles. Se utilizó la misma debido a que presenta una mayor concordancia con los sistemas utilizados en la zona de estudio que las estimaciones que se pueden realizar a partir de otras publicaciones que se comentan a continuación, que fueran realizadas en otros países orientados a la utilización de sistemas a corral y estabulados.

El consumo voluntario es una variable fundamental en la determinación de la respuesta productiva de los animales (Ingvarsen, 1994; Bodine & Purvis, 2003; Bohnert *et al.*, 2011). En sistemas estabulados la formulación de dietas equilibradas tiene por objeto que los animales puedan ingerir la mayor cantidad posible de alimento, de esta manera diluir los requerimientos de mantenimiento y maximizar las tasas de conversión. Bajo este contexto, prevalece la necesidad de asegurar que los animales son capaces de consumir la dieta determinada, por sobre el conocimiento del consumo voluntario (Poppi, 1996). En sistemas pastoriles, la producción del ganado depende en gran medida de variables tales como la cantidad y calidad del forraje producido, la capacidad y características del animal para cosecharlo y utilizarlo eficientemente (Tobias *et al.*, 2006). No obstante en condiciones de pastoreo, la determinación de los requerimientos nutricionales para alcanzar un nivel objetivo de producción debe tener como punto de partida la determinación del consumo voluntario de forraje que realicen los animales en el pastoreo (CSIRO, 2007).

Fox *et al.* (1988) evaluando los requerimientos de mantenimiento de ganado bovino encontraron diferencias de hasta un 400% respecto a los estipulados por National Research Council (NRC, 1987), cuando los animales se encontraban en situaciones ambientales extremas (variaciones de temperatura, velocidad del viento, etc).

NRC (1981) y Weston (1982), destacan las diferencias encontradas entre el consumo potencial de los animales medido en estabulación con alimentación *ad libitum* y el consumo en condiciones de pastoreo, donde estas últimas no son las óptimas para permitir el consumo en su valor potencial.

Frente a variaciones en el ambiente CSIRO (2007) realiza correcciones para temperaturas extremas reduciendo el consumo potencial en un 2% por cada grado centígrado de aumento de la temperatura media, e incrementando el mismo en un 1% por cada grado por debajo de una temperatura crítica para el animal. Asimismo contempla otras variables ambientales tales como la reducción de este efecto previo de la temperatura, hasta desaparecer con 20 mm de lluvia día⁻¹.

Tobias *et al.*, (2006) postularon que sistemas como NRC (2000) no serían los más adecuados para la predicción del desempeño de los animales sobre sistemas pastoriles. Estos autores a través del desarrollo de un modelo determinístico para predecir la tasa de GDP de novillos en pastoreo, a partir de estos requerimientos, encontraron que las ganancias fueron subestimadas en aproximadamente un 70% del valor real observado. En este sentido, aducieron el bajo ajuste del modelo a que las estimaciones del consumo de forraje, las fracciones energía y proteína de la dieta serían subestimadas en condiciones de pastoreo, por las ecuaciones de NRC (2000) utilizadas. Maquivar *et al.* (2006) reportaron resultados semejantes frente a estimaciones de la GDP de novillas sobre pasturas, con suplementación utilizando el sistema NRC (2000).

Por otro lado, la heterogeneidad de las pasturas, deriva en que el consumo de nutrientes por los animales, suele presentar una concentración superior a la oferta

media observada del recurso original, debido al efecto de selectividad animal en pastoreo (Jamieson & Hodgson, 1979; Ingvarstsen, 1994; Lemaire *et al.*, 2009). Este efecto de selectividad se encuentra contemplado en las ecuaciones de CSIRO (2007) a través de un término referido a esta componente.

El consumo animal es también influido por otras variables relacionadas con el animal y con el ambiente (Holden *et al.*, 2007). Por ejemplo, Herrero *et al.* (2000) desarrollaron ajustes a la función de consumo tradicional de Johnson & Parsons (1985), la cual adaptaron para captar la variación asociada a diferentes arquitecturas, tipo de forraje y peso de los animales.

Existen otros varios modelos que analizan estos aspectos en detalle como Brereton *et al.* (2005) quienes describen el proceso de pastoreo a partir de variables tales como tamaño del bocado, velocidad de consumo de bocados en función de distinta arquitectura de la pastura. CSIRO (2007) determina directamente el consumo de forraje a partir de una función que relaciona el consumo con la cantidad de forraje disponible. A través de experimentos previos, CSIRO (2007) también ha incorporado correcciones del consumo voluntario según tipo de especie forrajera, donde por ejemplo, se ha comprobado que aunque las gramíneas C₄ presentan una digestibilidad media un 15% inferior a las C₃ a un mismo estado de madurez, el consumo voluntario es mayor a un mismo nivel de digestibilidad ($r=0,81$).

La suplementación con henos, ensilajes y concentrados determina variaciones de la ingesta de la dieta pastoril basal, que se conoce como efecto de sustitución (Arelovich *et al.*, 2003; Abdelhadi *et al.*, 2005; Beretta *et al.*, 2006). El mismo se define como la cantidad de MS de forraje que el animal deja de consumir en pastoreo por unidad de suplemento consumido.

CSIRO (2007) permite estimar la magnitud de la tasa de sustitución y efectuar dichas correcciones en condiciones de suplementación sobre pasturas, a partir de la DMS del forraje de la pastura, la DMS del suplemento y la disponibilidad de MS de la pastura.

En la actualidad existen una gran cantidad de modelos para estimar el crecimiento animal, con diferentes enfoques como, modelos empíricos: CNES- Fox y Black, (1977); INRA, (1989); SCA, (1990); AFRC, (1994); NRC, (1996 y 2000); modelos mecanísticos o mixtos: CNCPS- Fox *et al.*, (2004).

Dentro de la literatura científica que revisamos en esta tesis para seleccionar el sistema de ecuaciones más adecuado para los objetivos de este trabajo, observamos que los modelos más actuales que han incorporado conceptos mecanísticos y representaciones de funciones biológicas con mayor grado de detalle a partir de la formulación de nuevas ecuaciones, han logrado avances importantes en la precisión de las estimaciones (Ferrel *et al.*, 2008).

Dentro de los modelos que incorporan ecuaciones mecanísticas de los procesos biológicos se destacan los que permiten predecir las GDP, discriminando la deposición en distintos tejidos, permitiendo relacionar el crecimiento no solo al peso vivo, sino también a su composición corporal a lo largo del tiempo (Fox *et al.*, 1984; Oltjen *et al.*, 1986; Di Marco *et al.*, 1989; Keele *et al.*, 1992; France *et al.*, 1996; Hoch & Agabriel, 2004 a) y b); Tedeschi *et al.*, 2004).

CSIRO (2007) realiza las estimaciones de los requerimientos energéticos de mantenimiento en función del peso vivo, la edad, la cantidad de energía ingerida en la dieta, la eficiencia neta de utilización de esta energía (incluyendo la composición

de distintos tejidos) y el gasto de energía dedicado al pastoreo. Respecto a la predicción de este último componente se realiza en función de parámetros asociados como la topografía del terreno, la dotación animal, la disponibilidad de forraje verde y el consumo total de pastura.

Las ecuaciones desarrolladas en CSIRO (2007) permiten estimar la evolución de las GDP de rumiantes con adecuada precisión a partir de la determinación previa de los consumos de EM, por considerar a esta componente el factor nutricional más importante que limita las GDP de los bovinos (Ferrell *et al.*, 1984; Jenkins *et al.*, 2000; Ferrel *et al.*, 2004; Freetly *et al.*, 2006; CSIRO, 2007).

Tanto en el consumo potencial, como en los requerimientos de mantenimiento, CSIRO (2007) considera casos especiales, como hembras en gestación y en lactancia con mayores costos de mantenimiento derivados del desarrollo del feto y la producción de leche, respectivamente.

Por último, la ubicación de Argentina y Australia en el hemisferio Sur y la relativa semejanza en la latitud geográfica fueron otro factor importante para la elección de este sistema de ecuaciones para MBBCR.

d.1) Subrutina consumo de los animales en pastoreo

Esta subrutina permite estimar los consumos reales diarios por categoría animal de forraje y de suplementos ofrecidos, y por consiguiente de PB y EM. Estas estimaciones se realizan a través del anidado de las funciones de CSIRO (2007) a las ecuaciones para determinar la disponibilidad de forraje estacional de la subrutina (c). Los mismos son expresados respectivamente en Kg MS cab⁻¹ día⁻¹, Kcal EM cab⁻¹ día⁻¹ y Kg PB cab⁻¹ día⁻¹ a partir de los siguientes algoritmos:

d.1.1) Consumo Potencial de Materia Seca (ConsP):

d.1.1.1) Bovinos destetados, no lactantes dentro de la zona termoneutra de temperatura:

La ecuación del ConsP de esta categoría define el mismo como función del peso adulto (PA), el tamaño relativo (TR) y la aplicación de un factor de corrección (FC) según el grado de condición corporal relativa (CR).

$$\text{ConsP} = \text{PA} \cdot \text{TR} \cdot 1,7 \cdot g \cdot \text{TR} \cdot \text{FC} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

g= coeficiente 0,025 para bovinos

El TR se define como la proporción del peso normal (PN) respecto al PA en un momento determinado, ambos expresados en Kg. Este toma un valor máximo de 1 cuando el animal alcanza la madurez.

$$\text{TR} = \frac{\text{PN}}{\text{PA}} \quad (\text{Ec.6})$$

El peso normal (PN) de los animales se identifica como el peso, cuando la condición corporal (CC) se encuentra en el centro de la escala que sigue un patrón con el tiempo. Esta ecuación fue desarrollada a partir de los trabajos iniciales de Brody (1945).

$$PN = PA - (PA - PC) \cdot e^{-k \cdot E \cdot PA^{-0,27}} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

PC= peso al nacer (Kg),

E= edad del animal (meses)

k= coeficiente de velocidad de crecimiento animal (0,35 para bovinos).

La CR del animal es la proporción entre el PV en un momento dado en referencia al PN, lo cual indica el estado de engrasamiento del animal. De este modo el PV puede estimarse por la siguiente ecuación:

$$PV = PA \cdot CR \cdot TR = PA \cdot \frac{PV \cdot PN}{N \cdot PA} \quad (\text{Ec. 8})$$

En el caso de animales con una CC mayor al valor medio de la escala, cuando CR toma valores superiores a 1, se supone una caída en el consumo que se estima a partir de un FC mediante la siguiente ecuación:

$$FC = CR \cdot \frac{1,5 - CR}{0,5} \text{ para } CR > 1, \text{ caso contrario } FC = 1 \quad (\text{Ec. 9})$$

La ecuación 5, permite predecir que el ConP de esta categoría alcanza su nivel máximo cuando el TR es de 0,85.

d.1.1.2) Vacas en lactancia:

El aumento de los requerimientos energéticos de los vientres en la lactancia, conlleva a un incremento del ConP. Para ello se utiliza el siguiente coeficiente multiplicativo (V) al ConP, que se define por la siguiente ecuación:

$$V = 1 + h \cdot DL^d \cdot e^{d(1-DL)} \cdot I \cdot LA \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

DL= D/L

D=día de lactancia

L= días hasta el pico de consumo potencial (62 días para bovinos de carne)

l=coeficiente de ajuste de la CC relativa al parto: $0,5+0,5\cdot CR$ en el parto

LA=Producción de leche real/producción de leche potencial

h= coeficiente 0,42 para bovinos de carne

d= coeficiente 1,7 para bovinos de carne

d.1.1.3) Terneros lactantes:

En esta categoría el ConP de alimentos sólidos se ve deprimido debido a que la principal fuente de alimentación es la leche materna. Se realiza la corrección del ConsP mediante el siguiente multiplicador (t):

$$t = \frac{1-PL}{1+e^{-a\cdot(NC-Q)}} \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

PL= proporción de leche en la dieta

NC=días desde el nacimiento

Q= máxima dependencia de la leche materna (60 días en bovinos de carne)

a= coeficiente 0,22 para bovinos

d.1.2.1) Consumo Potencial de Forrajes ($ConP_{forr}$):

El $ConP_{forr}$ en condiciones de pastoreo se estimó a partir de la siguiente ecuación que relaciona el ConP (Ecuación 5), la disponibilidad y calidad relativa de forraje (DR) y (CR), respectivamente y un índice de selectividad animal (S):

$$Con_{forr} = ConP \cdot DR \cdot CR \cdot S \quad (\text{Ec.12})$$

d.1.2.2) Disponibilidad de forraje relativa (DR):

La disponibilidad de forraje incide sobre el nivel de consumo del animal. CSIRO (2007) señala que con disponibilidades por debajo de los 3000 Kg MS ha⁻¹ el consumo real se aleja del consumo potencial frente a un mismo tiempo diario de pastoreo. Asimismo, define la siguiente relación exponencial entre la DR y la cantidad de forraje disponible (FD), donde cada unidad de cambio en el consumo respecto a la FD es proporcional al apetito insatisfecho a ese nivel de forraje:

$$\frac{\Delta DR}{\Delta FD} = 1-DR \quad \text{Esta relación determina:} \quad (\text{Ec.13})$$

$$DR = 1 - e^{-m \cdot FD} \quad (\text{Ec.14})$$

Donde:

m=coeficiente -0,001664 para bovinos de carne, propuesto por Aguirrezabala *et al.* (1993) en determinaciones de DR, en trabajos realizado en Uruguay. El mismo indica el grado de curvatura de la curva que representa el cambio unitario mencionado, que se produce en el consumo relativo de acuerdo al cambio en una unidad de disponibilidad de MS.

d.1.2.3) Calidad de forraje relativa (CR):

La ecuación de CR se basa en la composición de gramíneas y leguminosas templadas y gramíneas megatérmicas en los recursos forrajeros. Esta ecuación fue desarrollada inicialmente por Freer y Jones (1984) y ajustada en CSIRO (2007).

$$CR=1-1,7 \cdot (\max((0,8-(1-\text{Leg}) \cdot n)-DS),0) \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

Leg=proporción de leguminosas en la pastura (%),

DS= Digestibilidad del forraje seleccionado (%),

n= coeficiente 0,16 para gramíneas megatérmicas y 0 para gramíneas templadas.

d.1.2.4) Índice de selectividad animal (S):

La ecuación de CSIRO (2007), se encuentra especificada originalmente por Jamieson & Hodgson (1979), en función de la selectividad máxima de bovinos estimada en 28%, y a dos multiplicadores relacionados a la selectividad debida a disponibilidad y digestibilidad media de las praderas en utilización.

$$S= 1+ S_{\max} \cdot DR \cdot CR \quad (\text{Ec.16})$$

Donde:

S_{\max} = Selectividad máxima en bovinos: 0,28.

d.1.3.1) Consumo Potencial de Suplementos (ConP_{sup}):

Para el cálculo del ConP_{sup} se utilizaron las ecuaciones propuestas por el Agricultural and Food Research Council (AFRC, 1993 y Poppi, 1996), que permiten diferenciar relaciones para suplementos de tipo forrajeros como silajes y rollos ($\text{ConP}_{\text{sup-forr}}$), o concentrados energéticos ($\text{ConP}_{\text{sup-conc}}$). Se definió a este último como todo suplemento con un porcentaje de MS $\geq 88\%$ y un nivel de EM $\geq 2,65$ Mcal Kg MS⁻¹ (11 MJ Kg MS⁻¹).

$$\text{ConP}_{\text{sup-forr}}=0,001 \cdot (106,5 \cdot \text{Mt} - 24,1) \cdot \text{PV}^{0,75}$$

Donde:

Mt= Metabolicidad del suplemento (EM EB⁻¹ %)

$$\text{ConP}_{\text{sup-conc}} = 0,001 \cdot (116,8 - 46,6 \cdot \text{Mt}) \cdot \text{PV}^{0,75} \quad (\text{Ec. 17})$$

d.1.3.2) Consumo de suplementos (Con_{sup}):

El Con_{sup} fue definido como el mínimo entre la cantidad de suplemento ofrecido (F) y el ConP_{sup}:

$$\text{Con}_{\text{sup}} = \min (F, \text{ConP}_{\text{sup}}) \quad (\text{Ec. 18})$$

d.1.3.3) Tasa de sustitución (TS):

El efecto de sustitución se observa principalmente cuando la digestibilidad de un suplemento (D_{sup}) es superior a la digestibilidad del forraje seleccionado (D_{forr}). CSIRO (2007) define a TS como la cantidad de Kg MS de forraje que el animal deja de consumir por unidad de suplemento consumido y propone las siguientes relaciones:

$$\text{si } D_{\text{forr}} \geq D_{\text{sup}} \rightarrow \text{TS} = 0 \quad (\text{Ec. 19})$$

$$\text{si } D_{\text{forr}} < D_{\text{sup}} \rightarrow \text{TS} = \frac{D_{\text{forr}}}{D_{\text{sup}}} \cdot 1 - e^{-0,0017287 \cdot \text{FD}} \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

FD=cantidad de forraje disponible (Kg MS ha⁻¹)

d.1.4.1) Consumo Real de forraje (ConR_{forr}) y suplemento (ConR_{sup}):

El ConR_{forr} y ConR_{sup} se encuentra determinado por las TS observada entre ambos alimentos, estimados a través de las siguientes ecuaciones:

$$\text{No existe suplementación} \rightarrow \text{ConR}_{\text{sup}} = \text{ConP}_{\text{sup}} = 0; \text{ConR}_{\text{forr}} = \text{ConP}_{\text{forr}} \quad (\text{Ec. 21})$$

$$\text{si } D_{\text{sup}} > D_{\text{forr}} \rightarrow \text{ConR}_{\text{sup}} = \text{ConP}_{\text{sup}}; \text{ConR}_{\text{forr}} = \text{ConP}_{\text{forr}} - \text{TS} \cdot \text{ConP}_{\text{sup}} \quad (\text{Ec. 22})$$

si $D_{\text{sup}} \leq D_{\text{forr}}$: se supone un efecto de complementariedad.

$$\rightarrow \text{ConR}_{\text{sup}} = \min(\text{ConP}_{\text{sup}}, \text{ConP} - \text{ConR}_{\text{forr}}); \text{ConR}_{\text{forr}} = \text{ConP}_{\text{forr}} \quad (\text{Ec. 23})$$

d.1.4.2) Aporte de energía metabolizable por la dieta (EM):

El aporte de EM es estimado por las siguientes ecuaciones para cada tipo de alimento:

$$EM_{\text{forr}} = 0,172 \cdot D_{\text{forr}} - 1,707 \quad (\text{Ec. 24})$$

$$EM_{\text{sup-con}} = 1,23 + 0,134 \cdot D_{\text{sup}} + 0,235 \cdot EE \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

EE= Extracto Etéreo

$$EM_{\text{sup-forr}} = -1,7754 + 0,1813 \cdot D_{\text{sup}} \quad (\text{Ec. 26})$$

El Consumo total de EM (ConEM) se encuentra determinado por la suma de la EM aportada por cada componente de la dieta:

$$\text{ConEM} = EM_{\text{forr}} \cdot \text{ConR}_{\text{forr}} + EM_{\text{sup}} \cdot \text{ConR}_{\text{sup}} \quad (\text{Ec. 27})$$

Para terneros lactantes se cuantifica el aporte de EM por la leche, a través de la estimación de la producción de leche y la siguiente ecuación. El porcentaje de grasa se definió entre 2,8 y 3,5% (NRC, 2001).

$$EM_{\text{leche}} = 0,0458 \cdot \% \text{grasa} + 1,222 \quad (\text{Ec. 28})$$

d.1.5.1) Requerimientos energéticos de mantenimiento (EMm):

Los EMm se estimaron a partir de la siguiente ecuación:

$$EMm = \frac{r \cdot s \cdot t \cdot 0,26 \cdot P^{0,75} \cdot e^{-0,03 \cdot E}}{e_m} + 0,09 \cdot \text{ConEM} + CE_{\text{forr}} \quad (\text{Ec. 29})$$

Donde:

r= coeficiente 1,4 para razas británicas,

s= coeficiente ajuste por sexo, 1 para hembras y castrados y 1,15 para toros,

t= coeficiente ajuste terneros en lactancia, (1+(0,23·proporción de EM proveniente de leche)),

P= peso vivo excluyendo el peso del feto en vientres gestantes,

E= Edad (años) con un máximo de 6.

CE_{forr}= Costo energético adicional por actividad de pastoreo, respecto a un animal estabulado.

e_m=Eficiencia de utilización de la EM de mantenimiento

d.1.5.2) Costo energético adicional por actividad de pastoreo (CE_{forr}):

Este se calculó para terrenos planos, con una pendiente menor al 10%, por la ecuación 26:

$$CE_{\text{forr}} = \frac{c \cdot \text{ConR}_{\text{forr}} \cdot (0,9 - D_{\text{forr}}) \cdot \text{PV}}{e_m} \quad (\text{Ec. 30})$$

Donde:

c= coeficiente 0,0025 para bovinos de carne,

d.1.5.3) Eficiencia de utilización de la EM mantenimiento (e_m):

Esta se encuentra directamente relacionada a la EM de la dieta (EM_{dieta})

$$e_m = 0,02 \cdot EM_{\text{dieta}} + 0,5 \quad (\text{Ec. 31})$$

$$EM_{\text{dieta}} = \frac{\text{ConEM}}{\text{ConR}_{\text{forr}} + \text{ConR}_{\text{sup}}} \quad (\text{Ec. 32})$$

d.1.6.1) Balance de energía metabolizable (BEM) y estimación del cambio de PV (ΔPV):

A partir de la diferencia entre el ConEM y la EMm se determinó el BEM, que en función del coeficiente de utilización de la energía para GDP (E_g) permitió estimar posteriormente el ΔPV de los animales.

$$\text{BEM} = (\text{ConEM} - \text{EMm}) \cdot E_g \quad \text{si } (\text{ConEM} - \text{EMm}) \geq 0 \quad (\text{Ec. 33})$$

$$E_g = 0,0352 \cdot EM_{\text{dieta}} \cdot (1 + 0,33 \cdot \text{Leg}) \cdot (1 + 0,12 \cdot (\Phi \cdot \text{seno}(0,0172 \cdot G) \cdot 40^{-1})) \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde:

Leg=proporción de leguminosas en la pastura (%),

Φ =latitud geográfica en grados,

G=días transcurridos desde el 1 de enero.

Cuando los requerimientos de EMm son superiores al ConEM, y BEM es negativo se calcula por la siguiente ecuación:

$$\text{BEM} = \frac{(\text{ConEM} - \text{EMm}) \cdot E_g}{e\text{RRC}} \quad \text{si } (\text{ConEM} - \text{EMm}) < 0 \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

eRRC= Eficiencia de removilización de reservas corporales para cubrir este déficit energético de mantenimiento, que para bovinos es de 0,80.

El valor energético del Kg de peso vivo (EKPV) fue estimado a partir de la siguiente ecuación:

$$EKPV = (6,7 + C) + \frac{(20,3 - C)}{1 + e^{-6 \cdot (TR - 0,4)}} \quad (\text{Ec. 36})$$

Donde:

20, 3= coeficiente para bovinos de carne razas británicas.

$$C = \frac{(\text{ConEM})}{\text{EMm}} - 2$$

El ΔPV es calculado entre el cociente de BEM y EKPV, corregido a su vez por el factor 0,92, que representa el peso vivo vacío.

$$\Delta PV = \frac{\text{BEM}}{\text{EKPV} \cdot 0,92} \quad (\text{Ec. 37})$$

d.1.7.1) Evolución del PV estacional por categoría:

El PV de las distintas categorías fue estimado de forma estacional a partir de las GDP diarias y los días por estación calendario (d), según la siguiente ecuación:

$$PV_m = PV_{m-1} + \text{GDP} \cdot d \quad (\text{Ec. 38})$$

f) Subrutina índices reproductivos:

Este subprograma realiza la predicción de las tasas de preñez y su distribución en el tiempo para las distintas categorías reproductivas, sobre la base de los algoritmos generados por Soares de Lima (2009) a partir de análisis de regresión de 3696 registros de peso y preñez en rodeos bovinos de la estación Glencoe de Paysandú del INIA en Uruguay. Estas ecuaciones son de tipo logísticas y utilizan como variable predictiva el peso al inicio del entore (Pent). Se conoce la estrecha relación existente entre el peso al comenzar el servicio como indicador del nivel nutricional de las hembras y el anestro postparto relacionado a la evolución de las tasas de concepción durante el entore (Short *et al.*, 1990; Wettemann *et al.*, 2003; Farmer *et al.*, 2004; Montiel & Ahuja, 2005; Stalker *et al.*, 2007; Escobedo-Amezúa *et al.*, 2010).

El grado de complejidad que encontramos en la literatura revisada para predecir esta variable fue muy amplio tanto para el nivel de detalle como la escala de tiempo utilizada. Agabriel *et al.* (2004) exponen que en modelos de dinámica de rodeos reproductivos se debe escoger sistemas de ecuaciones apropiados a los objetivos de las simulaciones, dado que sería prácticamente imposible incluir una modelación matemática de todos los procesos biológicos involucrados en la concepción ya que los mismos, fisiología animal, dinámica del rodeo, etc, intervienen en distintas escalas de tiempo.

El modelo configurado por Sanders & Cartwright (1979 a,b) permite predecir la tasa de preñez a partir de la condición corporal, las GDP, el periodo de lactancia,

la fecha desde la parición y el potencial genético reproductivo. Kahn & Lehrer (1984) introdujeron al modelo de Sanders & Cartwright (1979 a,b) algunas nuevas variables relacionadas al efecto del amamantamiento, esterilidad y la edad de las vacas sobre la probabilidad de concepción y su distribución a través de coeficientes de corrección, logrando un mayor ajuste del mismo.

Sanz *et al.* (2004) a través de análisis multivariado (correspondencias múltiples) de 18 variables productivas y reproductivas sobre el intervalo postparto a partir de un registro de 549 vacas (raza Swiss y Pirinaica) encontraron que un 19%; 16,4%; 13,5% y 10% de la inercia total estuvo constituida respectivamente, por el nivel de alimentación preparto, postparto, frecuencia de amamantamiento y dificultad al parto. En este tipo de análisis el porcentaje de inercia representa el grado de incidencia de cada variable, donde estas 4 acumularían un 59% de la inercia total.

En función del objetivo de las simulaciones de sistemas y la mayor proximidad como semejanza de los rodeos utilizados, se determinó utilizar en MBBCR, las ecuaciones desarrolladas por Soares de Lima (2009), que fueron posteriormente calibradas al tamaño corporal 2 del sistema USDA Frame Score con los pesos propuestos por Boggs (1991). Por lo tanto, la probabilidad de la preñez durante el periodo de servicio, para vaquillonas de primero y segundo entore y vacas multíparas (PS1, PS2 y PS3 respectivamente), fueron estimadas a nivel mensual para cada uno de los tres meses del periodo de servicio (m1, m2 y m3).

Vaquillonas de primer entore:

$$PS1m1= 1- \frac{1}{1+e^{(-1.3265+0.00582 \cdot Pent)}} \quad (\text{Ec.39})$$

$$PS1m2= 1- \frac{1}{1+e^{(-0.824+0.0097 \cdot Pent)}} \quad (\text{Ec. 40})$$

$$PS1m3= \text{Max} (0, (1- \frac{1}{1+e^{(-0.824+0.0097 \cdot Pent)}})) \quad (\text{Ec. 41})$$

Vaquillonas de segundo entore:

$$PS2m1= 1- \frac{1}{1+e^{(-5.9985+0.0156 \cdot Pent)}} \quad (\text{Ec. 42})$$

$$PS2m2= 1- \frac{1}{1+e^{(-4.8897+0.0159 \cdot Pent)}} \quad (\text{Ec. 43})$$

$$PS2m3= \text{Max} (0, (1- \frac{1}{1+e^{(-4.8897+0.0159 \cdot Pent)}})) \quad (\text{Ec. 44})$$

Vacas multíparas:

$$PS3m1= 1- \frac{1}{1+e^{(-3.274+0.00707 \cdot Pent)}} \quad (\text{Ec. 45})$$

$$PS3m2= 1- \frac{1}{1+e^{(-4.7825+0,0131 \cdot Pent)}} \quad (\text{Ec. 46})$$

$$PS3m3= \text{Max} (0, (1- \frac{1}{1+e^{(-4.7825+0,0131 \cdot Pent)}})) \quad (\text{Ec. 47})$$

A partir de estas ecuaciones y la duración media de gestación de 280 días se estimó la distribución mensual de los nacimientos.

Las tasas de pérdidas acumuladas preparto, durante el parto y posteriores al parto hasta el destete se definieron para cada sistema tecnológico en función de relevamiento de las medias zonales de estos índices del INTA Bahía Blanca.

f) Subrutina asignación de suplementos:

Este subprograma determina y asigna las cantidades de suplemento por categoría en las distintas épocas del año en función de los criterios de decisión determinados que se detallarán para cada sistema tecnológico.

g) Subrutina uso y disponibilidad instantánea de forraje en los potreros:

Esta subrutina actualiza la disponibilidad de forraje de cada potrero en función la tasa de crecimiento diaria de la especie determinada por interpolación segmentaria de la subrutina (c), una tasa de pérdidas no relacionadas al pastoreo estimada en un valor equivalente fijo de 0,03% diario y los momentos calendario de utilización del potrero por los animales. Los momentos de utilización se encuentran determinados para cada categoría en función de los criterios de decisión determinados en las cadenas forrajeras que se detallarán para cada sistema tecnológico.

h) Subrutina confeccion de reservas forrajeras de excedentes primaverales:

Este subprograma monitorea excedentes de forraje en los potreros asignados a cada categoría. Cuando los mismos manifiestan excedentes superiores a los 2000 Kg. MS ha⁻¹.al final del ciclo de crecimiento. Esta subrutina efectúa el cálculo de la cantidad de rollos de producción propia en ese ciclo productivo.

i) Subrutina actualización de la dinámica del rodeo:

Esta subrutina calcula para cada categoría los stocks y pesos, iniciales y finales de cada ejercicio. Actualiza la evolución de la estructura interna del rodeo a partir de los nacimientos, muertes, crecimiento de los animales, cambio de categorías, salidas y entradas del sistema a lo largo del ciclo productivo.

j) Subrutina producción de carne neta:

Esta calcula la PCN expresada en Kg Carne ha⁻¹ año⁻¹ según la metodología AACREA (1985), a partir de la siguiente ecuación:

$$PCN = \frac{\text{salidas (Kg)} - \text{entradas (Kg)} \pm \text{diferencia de inventario (Kg)}}{\text{superficie ganadera (ha)}} \quad (\text{Ec. 48})$$

k) Subrutina resultado económico:

Esta determina el margen bruto (MB) ganadero definido por la diferencia entre los ingresos netos y los costos directos expresados en \$ ha⁻¹, según la metodología Convenio AACREA Banco Río (1990). Los ingresos netos (ventas – compras ± diferencia de inventario de hacienda, incluidos flete y comisiones de compra y venta de los animales) y los costos directos (implantación y protección de los recursos forrajeros, suplementación, sanidad, mano de obra, reposición de animales y amortizaciones directas de pasturas y toros) fueron calculados a partir de las FDP disponibles en la base de datos de entrada de los precios de los insumos, servicios, capitales y productos involucrados.

2.3.5. Archivo de resultados

Este archivo constituye una base de almacenamiento de datos donde se registra el valor de cada variable resultante en cada iteración de la simulación.

A partir de estos registros, una vez finalizado el número total de iteraciones de la simulación, se determinaron las frecuencias de ocurrencia y posteriormente las FDP empíricas de cada variable en función de su mayor bondad de ajuste a funciones matemáticas conocidas, por el método estadístico de K-S. De esta manera se obtuvieron las distribuciones de probabilidad de cada variable, que permitieron analizar el riesgo de las mismas en todo su rango de ocurrencia esperado.

Las variables estudiadas, derivadas de los resultados de la simulación, para las cuales se determinó su comportamiento estocástico, fueron para los procesos productivos primarios: la PPN de los 5 recursos forrajeros utilizados (sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701, *A. sativa* cv. Cristal, *T. ponticum* cv. Tobiano INTA, *E. curvula* cv. Tanganyika y *Stipa tenuissima*) y la PPN de la superficie ganadera total de cada sistema, que diferían en la composición porcentual de cada especie adoptada. Mientras que para las variables relacionadas a los procesos de producción secundaria se determinaron: la tasa de preñez, el peso del terneros a los 215 días (por ser la edad media de destete tradicional en la zona) y la carga animal expresada en EV ha⁻¹. Este último indicador se calcula por el cociente del promedio de los requerimientos de energía diarios de los animales durante un año expresados en EV (donde 1 EV equivale a 18,545 Mcal de EM), sobre la superficie ganadera total.

Las variables de resultado productivo y económico del sistema analizadas fueron la PCN y el MB.

2.3.6. Descripción matemática del funcionamiento de MBBCR.

A continuación describimos el funcionamiento del modelo en las siguientes ocho expresiones matemáticas. Usamos negritas para denotar vectores y matrices. La expresión 1 describe el vector que caracteriza las lluvias:

$$\boldsymbol{\gamma} = (\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4) \quad (1)$$

Donde:

$\boldsymbol{\gamma}$: vector de distribuciones de precipitación.

γ_i : FDP de la precipitación estacional en los partidos de Bahía Blanca y Cnel. Rosales.

i : conjunto de estaciones calendario (1= DEF; 2= MAM; 3=JJA; 4=SON).

En la expresión 2 se define la disponibilidad de EM por estación.

$$f_i(\boldsymbol{\gamma}_i) = \sum_{j \in J} \alpha_j \cdot \text{past}_j^i(\boldsymbol{\gamma}_i) \cdot \text{EM}_j \quad (2)$$

Donde:

$f_i(\boldsymbol{\gamma}_i)$: Energía Metabolizable total en la estación i en función de las lluvias $\boldsymbol{\gamma}_i$.

J : conjunto de tipos de recursos forrajeros.

j : Recurso forrajero ($j \in J$)

past_j^i : Producción de MS de la pastura j en la estación i en función de las lluvias de la estación i .

α_j : Proporción de recursos forrajeros en la superficie ganadera total.

EM_j : Energía Metabolizable por unidad de recurso forrajero j .

Las expresiones 3, 4 y 5 describen los vectores EM por estación en la oferta forrajera total, EM en los suplementos asignados y total entre ambos componentes de la dieta bovina, respectivamente

$$\mathbf{f}(\boldsymbol{\gamma}) = (f_1(\boldsymbol{\gamma}_1), f_2(\boldsymbol{\gamma}_2), f_3(\boldsymbol{\gamma}_3), f_4(\boldsymbol{\gamma}_4)) \quad (3)$$

$$\mathbf{g}(\boldsymbol{\gamma}) = (g_1, g_2, g_3, g_4) \quad (4)$$

Donde:

g_i (para $i=1\dots 4$): Energía metabolizable aportada por los suplementos en cada estación i (independiente de las lluvias).

$$\Phi_i(\gamma_i) = f_i(\gamma_i) + g_i \quad (5)$$

Donde:

$\Phi_i(\gamma_i)$ (para $i=1\dots 4$): Energía metabolizable aportada por los recursos forrajeros y suplementos en la estación i .

En la expresión 6 se describe el vector de peso vivo de las categorías animales para cada estación.

$$\rho_t(\gamma) = [\rho_k^t(f_i(\gamma_i))]_{k \times 4} \quad (6)$$

Donde:

$\rho_t(\gamma)$: Matriz de vectores peso vivo por categoría animal en el año t .

k : conjunto de categorías animales ($k \in K$)

$\rho_k^t(f_i(\gamma_i))$: peso vivo de la categoría k en la estación i del año t .

La expresión 7 determina la variación de stock por categorías animales.

$$\Delta_{t+1}^t \rho^k(\gamma) = C_k^{4; (t+1)} \cdot \rho_k^{(t+1)}(f_4(\gamma_4)) - C_k^{4; (t)} \cdot \rho_k^{(t)}(f_4(\gamma_4)) \quad (7)$$

Donde:

$\Delta_{t+1}^t \rho^k(\gamma) = \rho_{t+1}^k(\gamma) - \rho_t^k(\gamma)$ restringido a la categoría k .

\cdot : producto escalar.

$C_k^{4; (t)}$: Cantidad de cabezas de la categoría k en la estación 4 del año t .

En la expresión 8 se define el vector diferencia de inventario de pesos vivos entre los años t y $t+1$.

$$\Delta_{t+1}^t \text{Inv} = [\Delta_{t+1}^t \rho_k(\gamma)]_{k \times 1} \quad (8)$$

La expresión 9 determina el vector de la producción de carne total del sistema.

$$\mathbf{Prod Tot}_{t+1} = \mathbf{Ven}_{t+1} - \mathbf{Com}_{t+1} + \Delta_{t+1}^t \mathbf{Inv} \quad (9)$$

$$\mathbf{Ven}_{t+1} = [\mathbf{Vent}_{t+1}^k]_{k \times 1}$$

$$\mathbf{Com}_{t+1} = [\mathbf{Comp}_{t+1}^k]_{k \times 1}$$

Donde:

\mathbf{Vent}_{t+1}^k = Ventas de peso vivo de ganado de la categoría k en año t+1.

\mathbf{Comp}_{t+1}^k = Compras de peso vivo de ganado de la categoría k en año t+1.

La expresión 10 describe la PCN del sistema.

$$\mathbf{PCN}_{t+1} = \frac{[\mathbf{1}]_{k \times 1} \cdot \mathbf{Prod Tot}_{t+1}}{\mathbf{Sup Gan}} \quad (10)$$

Donde:

$[\mathbf{1}]_{k \times 1}$: vector columna de k entradas (todas =1)

\cdot : producto escalar.

Sup Gan: Superficie ganadera, expresada en ha.

\mathbf{PCN}_{t+1} : Producción de peso vivo por unidad de superficie en año t+1.

La expresión 11 define el MB del sistema.

$$\mathbf{MB}_{t+1} = \frac{\mathbf{Prec}_{t+1} \cdot \mathbf{Prod Tot}_{t+1} - \mathbf{Cost}_{t+1}}{\mathbf{Sup Gan}} \quad (11)$$

$$\mathbf{Prec}_{t+1} = [P_{t+1}^k]_{k \times 1}$$

Donde:

P_{t+1}^k : Precio kilo peso vivo de la categoría k n el año t+1.

\mathbf{Prec}_{t+1} : Vector precios de venta del kilo de peso vivo de las categorías animales k, en año t+1.

· : producto escalar.

Cost_{t+1} : Costo total por unidad de superficie, en año t+1.

MB_{t+1} : Margen bruto por unidad de superficie, en año t+1.

2.3.7. Definición de los sistemas tecnológicos bajo estudio.

Se estudiaron dos sistemas con distinto grado de adopción de tecnología, representativos de la región, uno de baja y otro de alta. El primero está conformado por el sistema modal (SM) zonal, por ser la situación más predominante y significativa de la realidad actual. El segundo es una propuesta de sistema tecnológico mejorado (ST) que el sistema de extensión de INTA se encuentra promoviendo y evaluando, frente al cual se infiere que su adopción generaría en la región un incremento significativo de los niveles y estabilidad tanto productiva como económica. En este sentido, si bien se poseen mediciones de los últimos ejercicios productivos de ambos tipos de establecimientos, se desconoce la respuesta de estos sistemas tecnológicos frente a la totalidad de la variabilidad climática de la precipitación posible en la región y por lo tanto, de sus niveles de riesgo.

El estudio de sistemas existentes y representativos de la región permite evaluar la validez del modelo, a partir de observaciones reales de establecimientos en los cuales se posee cuantificaciones fehacientes de sus variables productivas, económicas y de sus registros de precipitación estacional.

Una validación adecuada del modelo, permite un alto grado de confianza, para simular la respuesta de dichos sistemas frente a la totalidad de la variabilidad de la precipitación factible en la región y de esta manera poder diseñar experimentos para cuantificar y conocer en profundidad los niveles de riesgo de los mismos para distintas variables productivas y económicas.

La tecnología utilizada en ambos sistemas fue determinada a partir de los trabajos de encuesta (Gargano *et al.*, 1990; Gargano *et al.*, 2000 y Saldungaray *et al.*, 2011) de la Cátedra de Economía de la Empresa Agropecuaria de la Universidad Nacional del Sur y los relevamientos del INTA Bahía Blanca.

a) Estructura productiva y tecnología utilizadas en el Sistema Modal

La configuración tecnológica en este sistema consistió básicamente en:

- Oferta forrajera: utilización principal de pastizales naturales de *Stipa tenuissima* con una participación menor de verdeos anuales de invierno y verano.
- Procesos de manejo ganadero principales: La planificación de la cadena forrajera, de la nutrición animal y/o el manejo de la CC es prácticamente inexistente, la suplementación se efectúa con henos para cubrir déficit de forraje, sin ningún criterio de atención a los requerimientos nutricionales específicos por categoría. El servicio es estacionado, se practica el destete tradicional y la recría parcial de machos hasta el final de la primera primavera post destete.

Los parámetros definidos para el modelo se describen a continuación:

- Superficie Ganadera: 479 ha (76% de la superficie modal total).
- Actividad: Cría vacuna con recría de un 25% de los terneros machos hasta finales del mes de Noviembre de manera coyuntural entre años.

- Vientres: Razas británicas, peso medio 400 Kg, reposición propia, vida útil 10 años.
- Toros: Raza británicas, peso medio 600 Kg, comprados, vida útil 5 años.
- Servicio: Natural a razón de un 4% de toros, en los meses de Noviembre, diciembre y enero.
- Tacto rectal: 1 de Abril.
- Criterios de rechazo de categorías reproductivas:
 - Al servicio: 5% Vacas viejas con o sin cría, 2% Vacas nuevas sin cría, 1% Toros.
 - Al tacto: 1% Vacas viejas vacías, 5% Vacas nuevas vacías.
- Pérdidas entre preñez- parición y parición- destete: 4 y 5% respectivamente
- Destete: tradicional a los 7 meses de edad, a principios del mes de abril.
- Criterios de venta: Se vende la totalidad de los terneros al destete a excepción de un 15% de retención fija de hembras y hasta un 25% de los machos para recría hasta el mes de noviembre, en función de la oferta forrajera disponible al inicio del otoño.
- Criterio de manejo de la retención de la recría de machos: Los machos son retenidos cuando los vientres adultos presentan un PV mínimo 350 Kg al inicio del otoño. Comprobada esta condición, la tasa de retención de terneros fue definida por un 1% por cada 450 Kg MS de excedente, respecto al forraje requerido para el mantenimiento de los vientres durante toda la estación otoñal, hasta alcanzar el 25%. El nivel de 450 Kg MS ha⁻¹ fue determinado arbitrariamente, por encontrarse dentro del rango mínimo que se requeriría para el mantenimiento de dichos terneros durante la estación otoñal. La GDP posterior de los terneros queda determinada por la evolución en cada iteración de la oferta forrajera durante MAM, JJA y SON.
- Criterios de liquidación de animales por déficit de forraje prolongado por sequía:
 - Terneros machos recría: cuando se observan pérdidas del PV durante una estación se vende un 33% de dicho stock al finalizar la misma.
 - Vientres: cuando las pérdidas de peso de las vacas de cría al final de cada estación manifiestan un PV inferior a los 310 Kg, se vende un 15% del stock de las mismas según el PV de ese momento, al precio de la categoría vaca conserva.

Estas reglas de decisión son monitoreadas durante todas las estaciones.
- Mortandad anual 2% (vacas viejas), 0,5% de las categorías en crecimiento.
- Edad Primer servicio: 24 meses.
- Carga animal Inicial de vientres adultos: 0,44 cab ha⁻¹. Cuando los excedentes de forraje acumulado en otoño supera los requerimientos de forraje proyectados para los vientres adultos durante el invierno se retiene un 5% de vaquilloncitas extra.
- Composición de la base forrajera, labores agrícolas e insumos utilizados:
 - Sorgo: (14%) - 67 ha: rastra doble (x2), siembra, semilla (14 Kg ha⁻¹).

- Avena Pastoreo: (24%) - 115 ha: rastra doble (x2), siembra, semilla (80 Kg ha⁻¹), pulverización con 2,4-D (350 cc ha⁻¹) y tordón 24 K (80 cc ha⁻¹).
- Campo Natural: (62 %) - 297 ha.
- Cadena forrajera por categoría: Se asigna todas las categorías a un mismo recurso forrajero ya que se manejan todo el rodeo bovino conjuntamente.
- Criterios de suplementación: Se asignaron rollos para completar el consumo potencial de forraje (Kg cab⁻¹ día⁻¹) cuando la oferta forrajera fue menor al mismo.
- Plan Sanitario: aftosa (2 dosis anuales a todos los animales), brucelosis (1 dosis a las terneras de reposición), mancha y gangrena (2 dosis a los terneros y terneras), antiparasitario oral (2 dosis a las terneras de reposición).
- Mano de Obra: Productor agropecuario encargado del trabajo y la gestión de la empresa agraria, se asignó una retribución por trabajos directos en labores agrícolas y atención de la hacienda.

b) Estructura productiva y tecnología utilizadas en el Sistema Tecnificado:

La configuración tecnológica en este sistema se caracteriza por:

- Oferta forrajera: Base principal de pasturas perennes C₄ y C₃, con una participación relativa reducida de verdes anuales de invierno y verano.
- Procesos de manejo ganadero principales: La planificación de la cadena forrajera, la nutrición animal y el manejo de la CC se aplican de manera sistémica. Se optimiza la utilización de forrajeras perennes en verde y diferido a través de las herramientas de la planificación nutricional mencionadas. La suplementación estratégica se efectúa con henos y concentrados a partir la atención a los requerimientos nutricionales específicos de cada categoría y momento fisiológico. El servicio es estacionado, se practica el destete precoz de manera sistemática y se efectúa la recría de machos hasta el final de la primera primavera post destete cuando las condiciones del año lo permiten.

Los parámetros definidos para el modelo se describen a continuación:

- Superficie Ganadera: 479 ha (ídem la superficie modal).
- Actividad: Cría vacuna con recría de un 25% de los terneros machos hasta finales del mes de Noviembre de manera coyuntural.
- Vientres: Razas británicas, peso medio 400 Kg, reposición propia, vida útil 8 años.
- Toros: Raza británicas, peso medio 600 Kg, comprados, vida útil 5 años.
- Servicio: Natural a razón de un 4% de toros, en los meses de noviembre, diciembre y enero.
- Tacto rectal: 1 de Abril.
- Criterios de rechazo:
 - Al servicio: 5% Vacas viejas con o sin cría, 2% Vacas nuevas sin cría, 1% Toros.
 - Al tacto: 1% Vacas viejas vacías, 5% Vacas nuevas vacías.

- Pérdidas entre preñez- parición y parición-destete: 2 y 3% respectivamente
- Destete: precoz a los 2 meses de edad, a principios del mes de octubre.
- Criterios de venta: Se vende la totalidad de los terneros al destete a excepción de un 15% de retención fija de hembras fija y hasta un 25% de los machos para recría hasta el mes de noviembre, en función de la oferta forrajera disponible al inicio del otoño.
- Criterio de manejo de la retención de la recría de machos: Los machos son retenidos cuando los vientres adultos presentan un PV mínimo 350 Kg al inicio del otoño. Comprobada esta condición, la tasa de retención de terneros fue definida al 1% por cada 450 Kg MS ha⁻¹ de verdeo de invierno, hasta alcanzar el 25%. Esto se debe a que este recurso se encuentra destinado a las categorías en crecimiento en la planificación de la cadena forrajera de este sistema. El nivel de 450 Kg MS ha⁻¹ de verdeo de invierno fue determinado arbitrariamente, por encontrarse dentro del rango mínimo que asegura una mínima disponibilidad inicial y desarrollo de este recurso, que podrá ser complementado a través de una estrategia de suplementación dinámica para esta categoría en caso de déficit específicos futuros de EM y PB.
- Criterios de liquidación de animales por déficit de forraje prolongado por sequía:
 - Terneros machos recría: cuando se observan pérdidas del PV durante una estación se vende un 33% de dicho stock al finalizar la misma.
 - Vientres: cuando las pérdidas de peso de las vacas de cría al final de cada estación alcanzan un PV inferior a los 310 Kg, se vende un 15% del stock de las mismas según el PV de ese momento, al precio de la categoría vaca conserva. Estas reglas de decisión son monitoreadas durante todas las estaciones.
- Mortandad anual 1% (vacas viejas), 0,25% de las categorías en crecimiento.
- Edad Primer servicio: 15 meses.
- Carga animal Inicial de vientres adultos: 0,7 cab ha⁻¹. Cuando los excedentes de forraje acumulado en otoño supera los requerimientos de forraje proyectados para los vientres adultos durante el invierno se retiene un 5% de vaquilloncitas extra.
- Composición de la base forrajera, labores agrícolas e insumos utilizados:

Las proporciones de la misma fueron estipuladas en función del balance mensual de EM y PB.

 - Sorgo: (10%) - 50 ha: rastra doble (x2), siembra, semilla (14 Kg ha⁻¹).
 - Avena Pastoreo: (15%) - 72 ha: rastra doble (x2), siembra, semilla (80 Kg ha⁻¹), pulverización con 2,4-D (350 cc ha⁻¹) y tordón 24 K (80 cc ha⁻¹).
 - Pastura Perenne (C₄) Llorón: (50%) - 239 ha - rastra doble (x2), siembra, semilla (3 Kg ha⁻¹), pulverización anual con 2,4-D (350 ccha⁻¹) y tordón 24 K (80 ccha⁻¹). Duración: 15 años.
 - Pastura Perenne (C₃) Agropiro: (25%) - 120 ha - rastra doble (x2), siembra, semilla (30 Kg ha⁻¹), pulverización anual con 2,4-D (350 cc ha⁻¹) y tordón 24 K (80 cc ha⁻¹). Duración: 10 años.
- Cadena forrajera por categoría:

- Vacas de cría: Durante el periodo primaveral y estival pastorean en verde las pasturas C₄ y C₃. A partir de las primeras heladas en el otoño y hasta dos meses antes de la parición consumen diferidos de pastura C₄ y sorgo anual donde los vientres pierden peso de manera controlada a través del manejo de la condición corporal. Posteriormente hasta la fecha de destete precoz se utiliza el pastoreo de limpieza de los últimos remanente de diferidos complementados con el pastoreo diario de verdeos de invierno y pasturas C₃.
- Terneros de destete precoz: A la salida del corral de destete se les asignan pastura C₃ y C₄ en verde intercalando los momentos de mayor calidad forrajera hasta la fecha de venta en el mes de abril.
- Vaquillonas hasta segundo servicio: Se utiliza la misma secuencia y base forrajera que la vaca de cría adulta pero con una suplementación proteico correctiva y la utilización de verdeo de invierno estratégica, para asegurar ganancias de peso moderadas durante esta etapa.
- Terneros/as de recría hasta el mes de noviembre: Se les asigna los verdeos de invierno apoyada con un suplementación estratégica bien ajustada.
- Criterios de suplementación:
 - Vacas de cría: Cuando la oferta forrajera expresada en Kg cab⁻¹ día⁻¹, es deficitaria respecto al consumo potencial de forraje invernal, se completa asignando rollos.
 - Cuando el modelo identifica deficiencias de la PB (Kg cab⁻¹ día⁻¹) entre parición y el destete precoz, se cubren dichas carencias a partir de la suplementación con pellet de girasol. Este criterio se apoyan en que cuando el forraje asignado posee altos contenidos de fibra y bajos de PB, su consumo disminuye (NRC, 1987) siendo nutricionalmente inadecuado para cubrir los requerimientos de vacas preñadas en el último periodo de gestación y en lactancia (NRC, 1996).
 - Terneros de destete precoz: Se asigna 15 Kg cab⁻¹ de alimento balanceado (18% PB y 2,8 Mcal EM Kg⁻¹) y 15 Kg cab⁻¹ de fardo de alfalfa en la etapa de corral (15 días). Luego se suplementa a pastoreo durante 45 días con alimento balanceado (15% PB y 2,5 Mcal EM Kg⁻¹) a razón de 1 Kg cab⁻¹ día⁻¹. Finalmente hasta la venta en abril o la finalización de la recría-invernada a fin de noviembre, se asigna una suplementación estratégica en momentos de déficit nutricional del forraje en base a grano de avena. En caso de deficiencias de PB, se balancea el déficit a partir de pellet de girasol.
 - Vaquillonas hasta el segundo servicio: Hasta alcanzar su peso adulto (370 Kg cab⁻¹) se cubren las deficiencias ocasionales de PB a partir de pellet de girasol.
- Plan Sanitario: aftosa (2 dosis anuales a todos los animales), brucelosis (1 dosis a las terneras de reposición), mancha y gangrena (2 dosis a los terneros y terneras), antiparasitario oral (2 dosis a las terneras de reposición), calcio y magnesio (2 dosis a las vacas de cría), queratoconjuntivitis, neumonía y diarrea (2 dosis a los terneros y terneras de destete precoz), mosca de los cuernos: 2 dosis a todos los animales, control de toros (1 vez por año).

- Mano de Obra: Productor agropecuario encargado del trabajo y la gestión de la empresa agraria, se asignó una retribución por trabajos directos en laboreos agrícola y atención de la hacienda.

2.3.8. Validación del modelo.

La bondad de ajuste del modelo se determinó a través del cálculo de mínimos cuadrados obtenidos para la regresión lineal ($Y = a + b \cdot X$) entre los valores observados (X_i) y los valores simulados (Y_i) de las variables de resultado: la PCN y el MB (Shannon, 1988). Esta regresión fue evaluada respecto a la recta dada por la situación ideal, donde los valores simulados coincidirían exactamente con los valores observados. Para esto se plantearon las pruebas de hipótesis para el intercepto ($H_0: a = 0$) y para la pendiente ($H_0: b = 1$) mediante la prueba *t Student* con un nivel de significancia del 5% (Steel y Torrie, 1988). Para realizar este análisis se utilizaron los datos de 3 establecimientos de nivel tecnológico modal de la zona y 2 referentes de alto nivel tecnológico semejante al sistema propuesto (ST) que fueron monitoreados directamente por la Agencia de Extensión de INTA Bahía Blanca. Los datos de producción, económicos y de las precipitaciones registradas en cada uno de dichos establecimientos correspondieron a los ejercicios del 2005 al 2011.

Posteriormente, se determinó la raíz del error cuadrado medio de las predicciones (Ecuación 46), expresando el resultado en valores absolutos como relativos a la media de las observaciones reales. Este indicador cuantifica el nivel de sobre o subestimación que pudiera realizar un modelo respecto al promedio de los valores observados.

$$\text{Raíz del error cuadrado medio} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - X_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{\text{Valor observado medio}} \quad (\text{Ec.46})$$

Donde: n= el número de pares de datos en el cálculo.

2.3.9. Diseño del experimento y análisis estadístico.

Las variables estudiadas fueron las registradas en el archivo de resultados: la PPN de las especies representativas de los 5 recursos forrajeros utilizados (*Avena sativa* cv Cristal, Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701, *Eragrostis curvula* (Schrader) Nees cv. Tanganyika, *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA y *Stipa tenuissima*.), la PPN por unidad de superficie ganadera total, la tasa de preñez, el PV medio del terneros a los 215 días de vida (fecha de destete tradicional en la zona), la carga animal, la PCN y el MB.

El diseño del experimento tuvo por objetivo la comparación de las distribuciones de probabilidad de cada una de dichas variables, resultantes de cada sistema tecnológico bajo análisis: (SM y ST), bajo los dos escenarios climáticos determinados (PPa y PPc). De esta manera quedaron construidos 4 tratamientos diferentes: SM-PPa, ST-PPa, SM-PPc y ST-PPc. Cada tratamiento estuvo

conformado por la FDP resultante de 5.000 iteraciones simuladas por el modelo (n=5.000).

Se comprobó el cumplimiento de los supuestos de normalidad (test S-W) y heterocedasticidad (test F) de las FDP de cada tratamiento. Como la mayoría de las FDP fueron de tipo asimétrico y no cumplían con este primer supuesto, se compararon los efectos medios de las distribuciones a partir de análisis de la varianza no paramétrica mediante la prueba de medianas de K-W con un nivel de significancia del 5% (Infostat). Cuando se compararon más de dos medianas y se encontraron diferencias significativas se aplicó para diferenciarlas el test de comparaciones múltiples de medianas (Conover, 1999).

El estudio se complementó con análisis de regresión lineal de las variables de resultado (PCN y MB) y análisis de sensibilidad de las variables estocásticas (precipitación estacional) respecto a los resultados de la variable PCN.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados obtenidos para validar la hipótesis 1

Hipótesis 1: *La variabilidad de la precipitación anual, estacional y de anomalías extremas, manifiesta diferencias en el comportamiento espacial en el territorio de estudio. Consecuentemente, la misma determinará distintos niveles de riesgo de ocurrencia del evento dentro del área, hasta el momento no valuados en su importancia o grado de heterogeneidad.*

Objetivo específico 1: *Cuantificar y comparar la distribución de la precipitación anual, estacional y de ocurrencia de anomalías dentro del área de estudio y determinar su grado de homogeneidad espacial.*

3.1.1. Análisis de variabilidad de la precipitación anual y su tendencia.

La Prueba de normalidad S-W y el test de bondad de ajuste de K-S sobre la precipitación media anual de los 10 sitios permitieron aceptar que las series de datos se ajustan al modelo de distribución normal, con un mínimo nivel de significancia de ($p>0,39$) y ($p>0,51$), respectivamente. Por tal motivo se cuantificaron los niveles de riesgo de la precipitación acumulada anual, a través de la FDP normal. En la Tabla 4 se presentan los parámetros media y DST de dichas FDP.

Tabla 4. Parámetros Media y Desvío Standard (DST) de la función densidad de probabilidad Normal, determinante del riesgo de la precipitación media anual de los sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42). ASM= Alferez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR= Carrindanga Norte.

	ASM	LO	CAB	PM	BB	BSJ	BH	NAP	PC	CARR
Media	617	638	645	644	650	661	699	702	708	749
DST	162,6	154,4	160,8	163,5	163,7	159,7	167,6	160,2	175,5	181,1

Por su parte, la prueba F de homogeneidad de varianzas aceptó la homocedasticidad de todos los pares de registros con un mínimo nivel de significancia de ($p>0,38$) (Tabla 5).

ANOVA detectó diferencias ($p < 0,0001$) entre las FDP de la variable precipitación media anual dentro del área de estudio. La Figura 5 muestra las diferencias encontradas entre los sitios evaluados en las comparaciones múltiples por el test de Duncan.

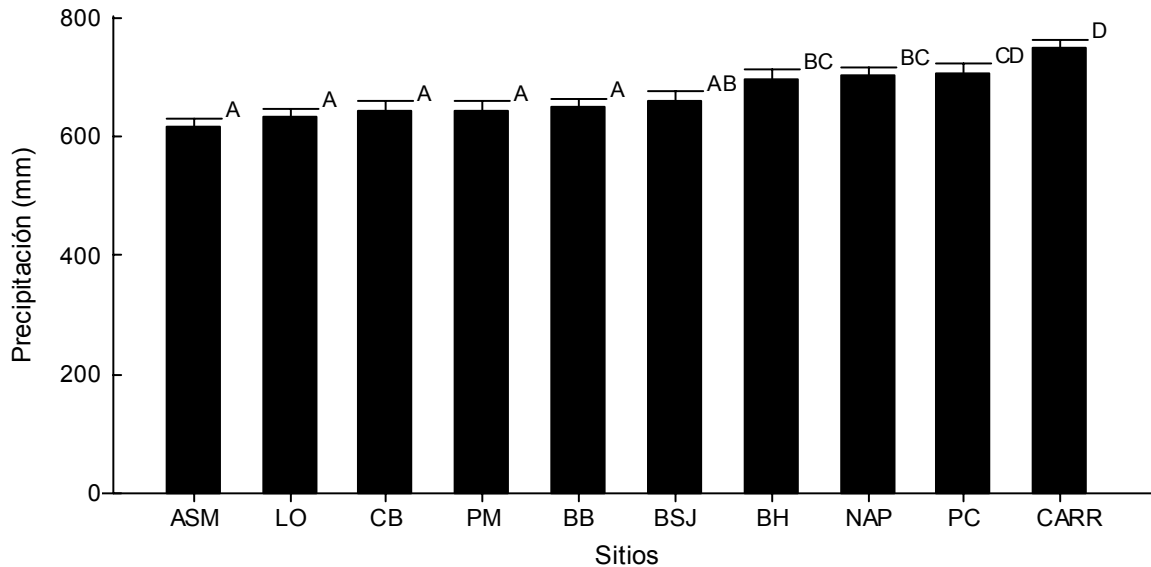


Figura 5. Precipitación media anual de los sitios evaluados, periodo 1970-2011. ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR= Carrindanga Norte. Las barras representan el error estándar de la media ($n=42$). Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

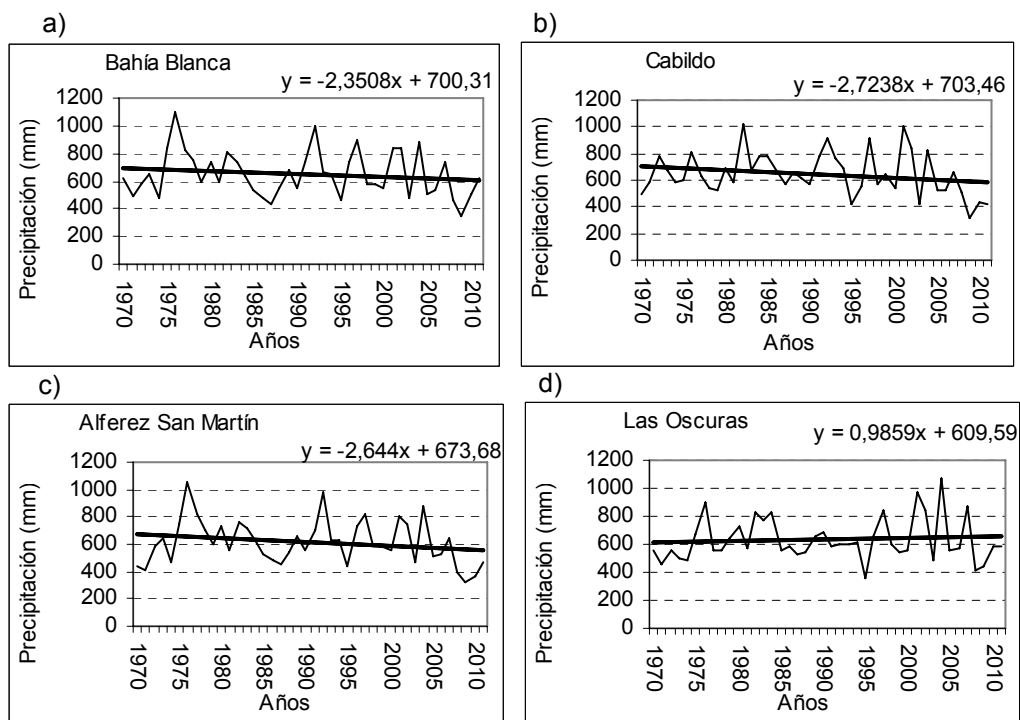
Entre las diferencias encontradas se resaltan las observadas entre los extremos: por un lado Alférez San Martín, sitio de menor precipitación media anual, al Oeste del partido de Bahía Blanca presentó diferencias significativas con los sitios Bajo Hondo, Naposta Norte, Pehuen-Co y Carrindanga Norte. Estas últimas manifestaron medias superiores en un 13,2%; 13,8%; 14,8% y 21% respectivamente con aquella primera. Asimismo, ubicada en el extremo de máxima precipitación media anual Carrindanga Norte, presentó una media superior en un 14,8%; 14%; 13,9%; 13,3%; 12%; 6,8% y 6,3 % respecto a Las Oscuras, Cabildo, Paso Mayor, Bahía Blanca, Bajo San José, Bajo Hondo y Naposta Norte, respectivamente.

El análisis estadístico de comparación de igualdad de varianzas de los registros no permitió rechazar este supuesto, para ninguno de los pares de rectas de los sitios comparados (Tabla 5). El menor nivel de significación encontrado fue entre las dos localidades de los extremos este-oeste: Pehuen-Co y Alférez S. Martín ($p > 0,38$). Se calculó entonces la varianza ponderada a partir de los cuadrados medios residuales (23134,4), que representa un desvío estándar (DST) de 152,1 mm.

Tabla 5. Nivel de significación de la comparación de igualdad de varianzas entre los pares de los 10 sitios estudiados, por la prueba F (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR= Carrindanga Norte.

BB												
CAB	0,82											
PM	0,78	0,73										
LO	0,67	0,66	0,62									
CARR	0,64	0,62	0,64	0,67								
PC	0,65	0,59	0,57	0,71	0,66							
ASM	0,44	0,62	0,80	0,49	0,55	0,38						
BSJ	0,49	0,48	0,58	0,52	0,61	0,73	0,58					
NAP	0,65	0,54	0,49	0,56	0,77	0,64	0,62	0,69				
BH	0,71	0,67	0,54	0,70	0,74	0,53	0,45	0,49	0,53			
	BB	CAB	PM	LO	CARR	PC	ASM	BSJ	NAP	BH		

En la Figura 6 se presenta la tendencia lineal de las precipitaciones anuales históricas para los 10 sitios del área de estudio.



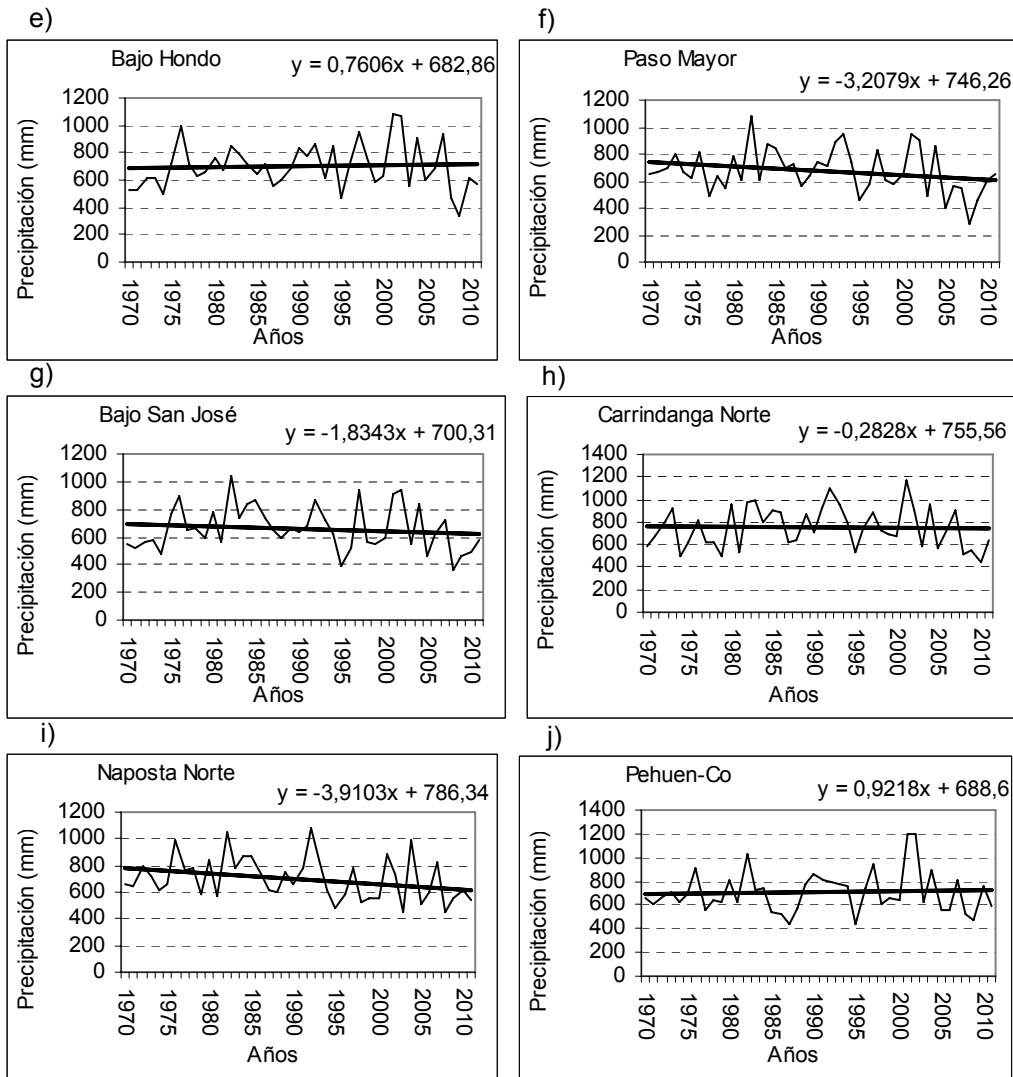


Figura 6. Precipitación anual y su tendencia lineal en los sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42). a) Bahía Blanca, b) Cabildo, c) Alférez San Martín, d) Las Oscuras, e) Bajo Hondo, f) Paso Mayor, g) Bajo San José, h) Carrindanga Norte, i) Napostá Norte, j) Pehuen-Co.

No se encontraron diferencias significativas en la pendiente de las rectas de tendencia entre ningún sitio (Tabla 6). No obstante, entre Naposta Norte respecto a Las Oscuras se observó una significancia muy cercana a los niveles de rechazo: ($p > 0,0567$). Asimismo otros sitios manifestaron un nivel de aceptación de hipótesis con un mínimo observado menor al 10%. Las rectas de tendencia por lo tanto, pueden ser consideradas paralelas, con la observación mencionada de disminución del nivel de significancia con sentido Este. La pendiente ponderada de la tendencia fue de $-1,2933 \text{ mm año}^{-1}$.

Tabla 6. Nivel de significación de la comparación de igualdad de pendientes de rectas entre los pares de las regresiones lineales de los 10 sitios estudiados, por la prueba *t Student* (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuén-Co, CARR= Carrindanga Norte.

BB											
CAB	0,9013										
PM	0,7757	0,8721									
LO	0,2679	0,2181	0,0941								
CARR	0,4919	0,4173	0,3312	0,6732							
PC	0,2771	0,2262	0,1106	0,9830	0,6888						
ASM	0,9197	0,9779	0,8449	0,2087	0,4345	0,2383					
BSJ	0,8590	0,7573	0,6338	0,3284	0,6075	0,3618	0,7806				
NAP	0,5918	0,6802	0,8075	0,0567	0,2303	0,0704	0,6632	0,4754			
BH	0,2851	0,2268	0,1094	0,9377	0,7297	0,9574	0,2423	0,3725	0,0892		
	BB	CAB	PM	LO	CARR	PC	ASM	BSJ	NAP	BH	

Respecto a la igualdad de ordenada de origen se encontraron diferencias significativas y altamente significativas como muestra la Tabla 7. Por lo tanto, los siguientes pares de tendencias presentaron la misma pendiente de la recta pero distintas ordenadas de origen: Carrindanga con Bahía Blanca, Cabildo, Paso Mayor, Alférez SM, Bajo San José y Las Oscuras; Las Oscuras con Pehuén-Co, Naposta y Bajo Hondo. Finalmente Alférez SM con Pehuén-Co y Bajo San José. Entre el resto de los pares de sitios las rectas se pueden considerar coincidentes.

Tabla 7. Nivel de significación de la comparación de igualdad de ordenada al origen entre los pares de regresiones lineales de los 10 sitios estudiados, por la prueba *t Student* (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuén-Co, CARR= Carrindanga Norte. (*)=diferencias significativas. (**)=diferencias altamente significativas.

BB											
CAB	0,8935										
PM	0,4496	0,3737									
LO	0,6018	0,6980	0,2019								
CARR	0,0065**	0,0043**	0,0480*	0,001**							
PC	0,1478	0,1817	0,3924	0,0336*	0,2596						
ASM	0,3472	0,4213	0,1546	0,6899	0,0003**	0,01275*					
BSJ	0,7512	0,6471	0,6386	0,3897	0,01592*	0,1939	0,2288				
NAP	0,1645	0,1509	0,4749	0,0416*	0,1972	0,8665	0,0200*	0,2577			
BH	0,1587	0,1703	0,5306	0,0491*	0,1697	0,8011	0,0249*	0,2946	0,9332		
	BB	CAB	PM	LO	CARR	PC	ASM	BSJ	NAP	BH	

Los resultados expuestos en la Figura 5, demuestran que existe diferencia en la precipitación media anual de los sitios dentro de los partidos de estudio, la cual parecería presentar una tendencia al incremento de la precipitación anual en sentido noreste y con el incremento de la altitud de los sitios. El aumento de la precipitación hacia el noreste dentro de la provincia de Buenos Aires ha sido descrito por otros estudios de mayor escala (Krepper *et al.*, 1987; Scian, 1999; Forte lay, 1984; Scian *et al.*, 2006) y responde a relaciones de cercanía progresiva a los centros atmosféricos de advección de humedad. Por su parte, la tendencia observada al aumento de las lluvias al incrementarse la altitud de los sitios dentro del área de estudio, es una

relación ampliamente reconocida en la literatura, donde factores geofísicos serranos generan variaciones climáticas, como el aumento de la precipitación en un sitio al incrementarse su altitud (Peck & Brown, 1962; Hartmann, 1994; Shafer *et al.*, 2006).

Integrando la información de la Figura 6, se puede observar en los últimos 42 años una tendencia lineal generalizada a una muy ligera disminución ($-1,3 \text{ mm año}^{-1}$ o 13 mm por década) de la precipitación anual acumulada. Sin embargo, este hecho podría corresponderse a la fase seca de los ciclos característicos de la precipitación en la región semiárida pampeana entre 30 y 40 años (Minetti *et al.*, 1995; Donari *et al.*, 1996; Labraga *et al.*, 2002). Esta información se vería complementada en el estudio de la Hipótesis 2 mediante el análisis de tendencias de series de tiempo de mayor longitud en donde puedan identificarse las tendencias de varios ciclos húmedos y secos de manera conjunta.

3.1.2 Análisis de la variabilidad de la precipitación estacional y su tendencia.

La prueba de normalidad S-W encontró evidencias para rechazar el supuesto de normalidad ($p < 0,0001$) para las variables precipitación media de las 4 estaciones del año para los 10 sitios. En la mayoría de los casos la media fue mayor que la mediana, por lo cual se puede inferir un cierto grado de asimetría en la distribución de las lluvias estacionales (Ven Te, 1994). El test de bondad de ajuste de K-S aceptó el ajuste de estas series de datos observados al modelo de distribución teórico de la FDP gamma con un nivel de significancia mínimo de ($p < 0,0481$). En la Tabla 8 se expone el cálculo de los parámetros alfa y beta, determinantes de la FDP gamma de la precipitación estacional de los 10 sitios evaluados. Estos parámetros permiten definir la forma y escala de cada función, de esta manera habilitan los cálculos de riesgo y probabilidad de ocurrencia de distintas magnitudes del fenómeno lluvia en cada sitio y estación. En la Figura 7, se presenta el gráfico a modo de síntesis, de las funciones gamma de las 4 estaciones del año para los 4 sitios ubicados en los extremos del área de estudio: Bahía Blanca (sur), Cabildo (Norte), Alférez S. Martín (Oeste) y Las Oscuras (Este).

Tabla 8. Parámetros Alfa y Beta de la función densidad de probabilidad Gamma, determinante del riesgo de la precipitación media estacional de los sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR= Carrindanga Norte.

Estación	Parámetro	BB	CAB	ALF	LO	NAP	PC	CARR	BH	PM	BSJ
Verano (DEF)	Alfa	5,6	8,8	5,9	5,8	6,8	8,2	9,3	6,1	8,4	8,4
	Beta	35,4	23,7	33,0	31,2	33,0	24,8	25,8	35,2	25,1	25,2
Otoño (MAM)	Alfa	5,1	4,7	5,5	5,3	4,8	5,2	4,7	5,2	4,0	5,2
	Beta	34,8	38,6	31,8	35,8	42,6	40,6	43,6	37,4	47,0	35,5
Invierno (JJA)	Alfa	1,9	2,2	2,0	2,4	2,0	2,4	1,9	2,0	2,3	2,4
	Beta	45,8	36,6	40,1	36,7	45,7	43,3	49,8	47,0	37,9	35,7
Primavera (SON)	Alfa	9,5	8,4	8,5	7,7	6,5	8,1	8,3	7,5	7,2	6,8
	Beta	19,5	20,7	19,6	22,3	28,8	23,6	25,2	25,6	26,0	26,4

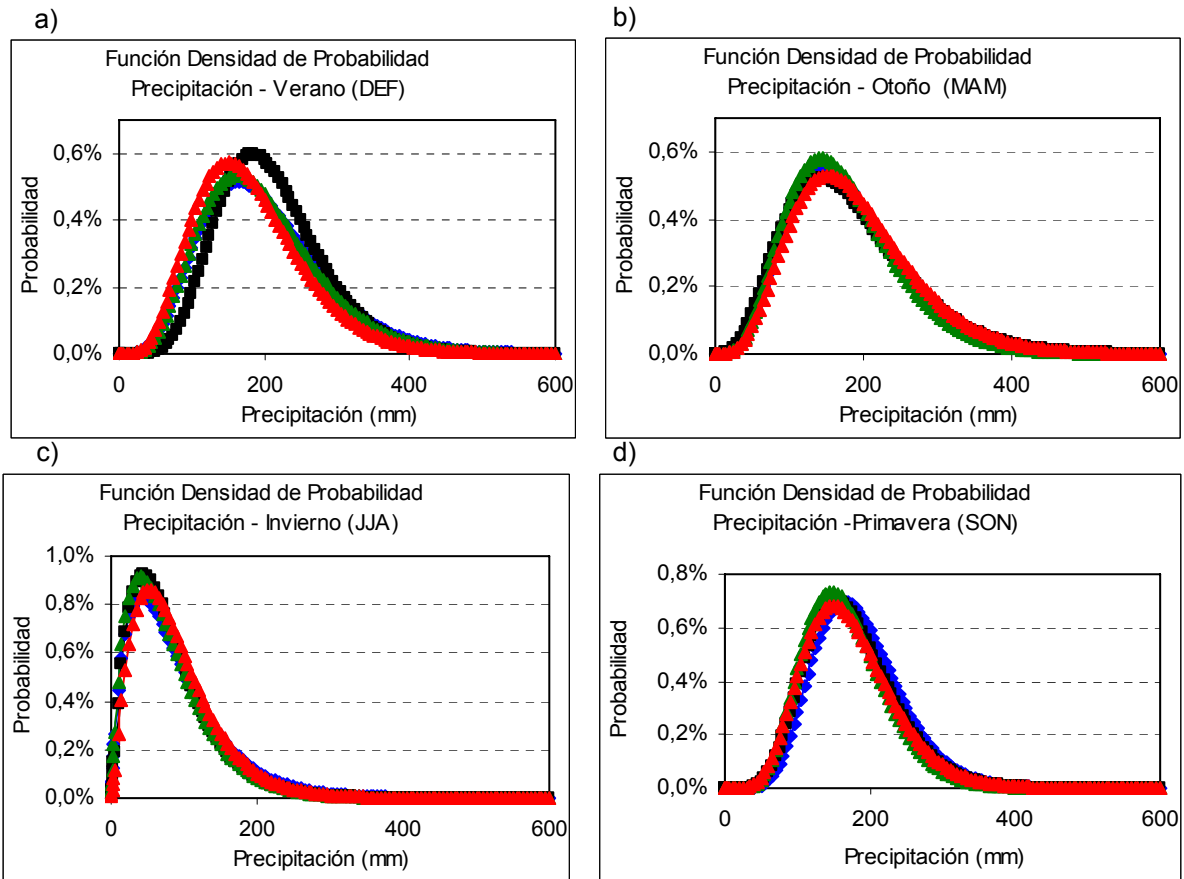


Figura 7. Función densidad de probabilidad de la precipitación estacional, periodo 1970-2011 (n=42). a) Verano (DEF), b) Invierno (JJA), c) Otoño (MAM), d) Primavera (SON). Azul= Bahía Blanca, Negro=Cabildo, Verde= Alférez San Martín, Rojo = Las Oscuras.

La prueba de medianas de K-W encontró diferencias ($p < 0,0001$) en la comparación entre estaciones dentro de cada sitio, para todos los sitios. Paso Mayor y Carrindanga Norte presentaron diferencias altamente significativas de los efectos medios entre la estación invernal frente a las demás, y del otoño respecto al verano. Mientras en el resto de los 8 parajes solo se encontraron diferencias del invierno frente a las estaciones restantes, tal como ilustra la Figura 8 para Bahía Blanca y Paso Mayor.

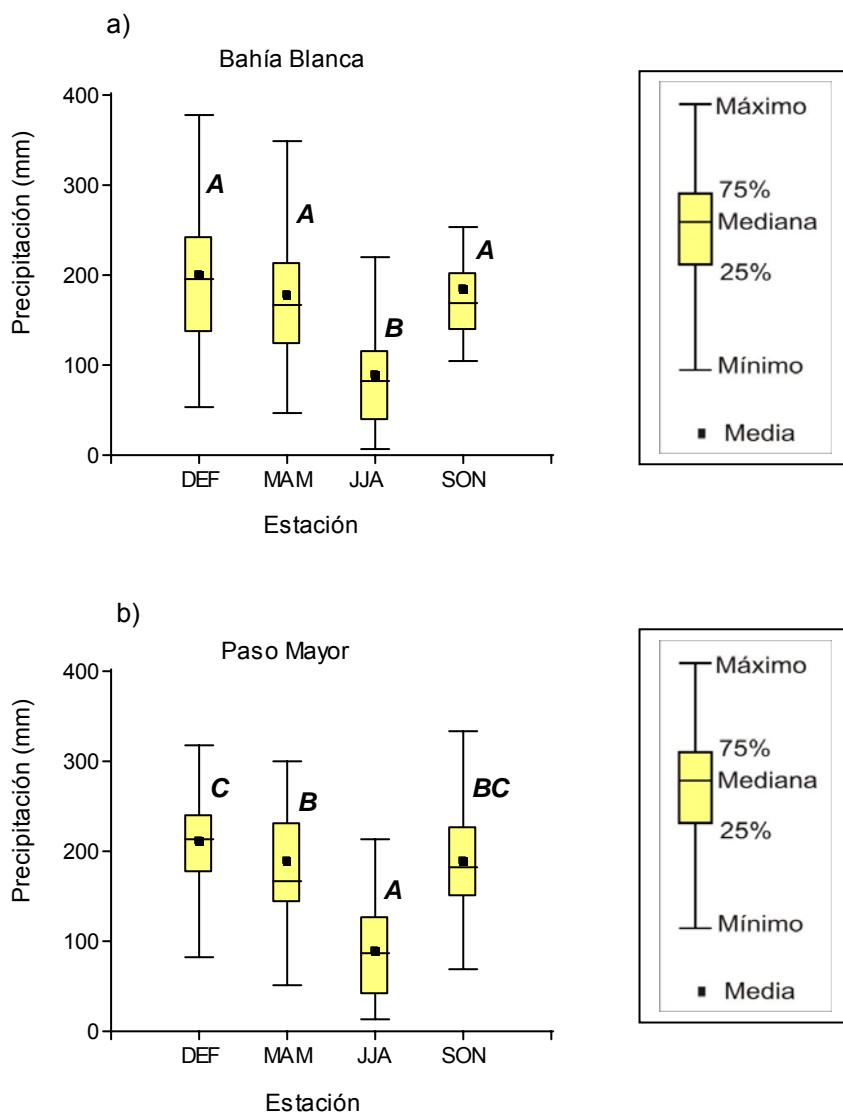
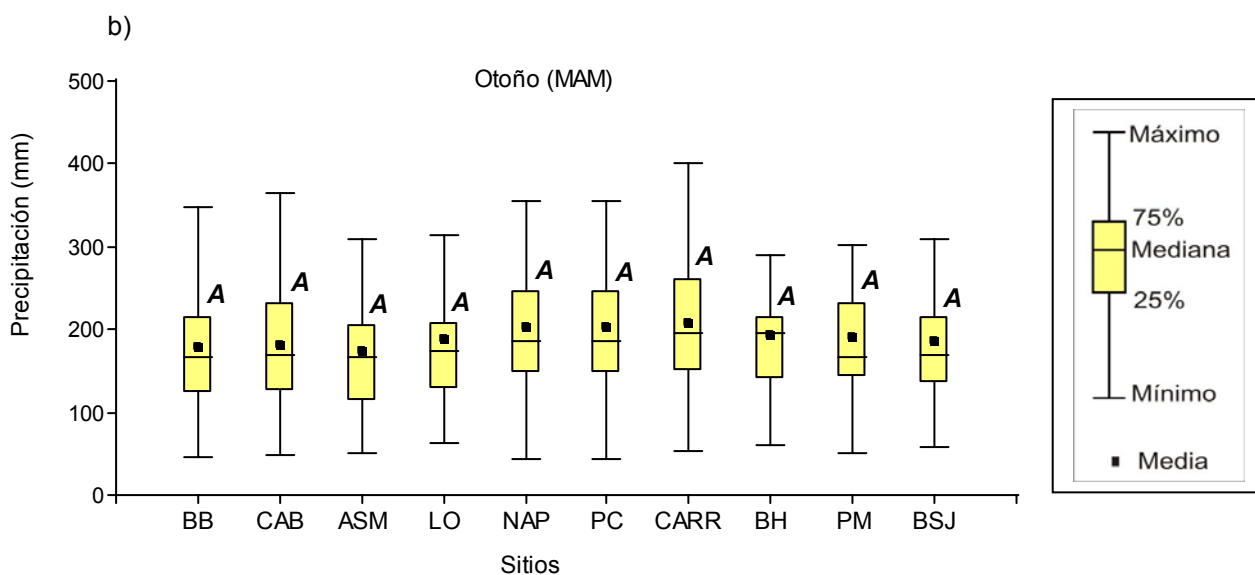
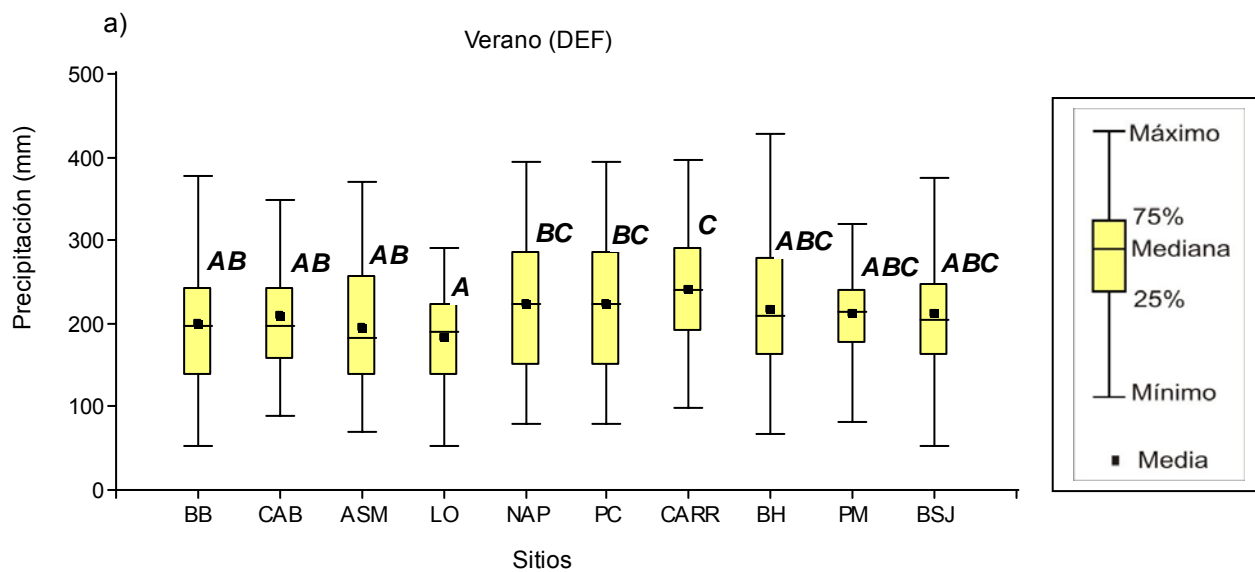


Figura 8 .Gráfico de cajas comparando la distribución de la precipitación entre estaciones, periodo 1970-2011 (n=42). a) Bahía Blanca, b) Paso Mayor. Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

En cuanto a diferencias entre el comportamiento de las lluvia de cada estación, entre los sitios, solo se encontraron diferencias ($p < 0,044$) para el verano. La máxima diferencia entre medianas encontrada fue de Carrindanga Norte respecto a Las Oscuras (+24,3%). Este hecho demostraría que los efectos medios de la precipitación estacional en el invierno, otoño y primavera no demuestran evidencias de diferencias. Por otro lado, solamente se observó una mínima proporción de comportamientos distintos (7 diferencias), en los efectos medios de la precipitación estival, pero de baja magnitud. Este hecho permite inferir que la región de estudio presenta una relativamente alta homogeneidad en el comportamiento de la precipitación estacional (Fig. 9).



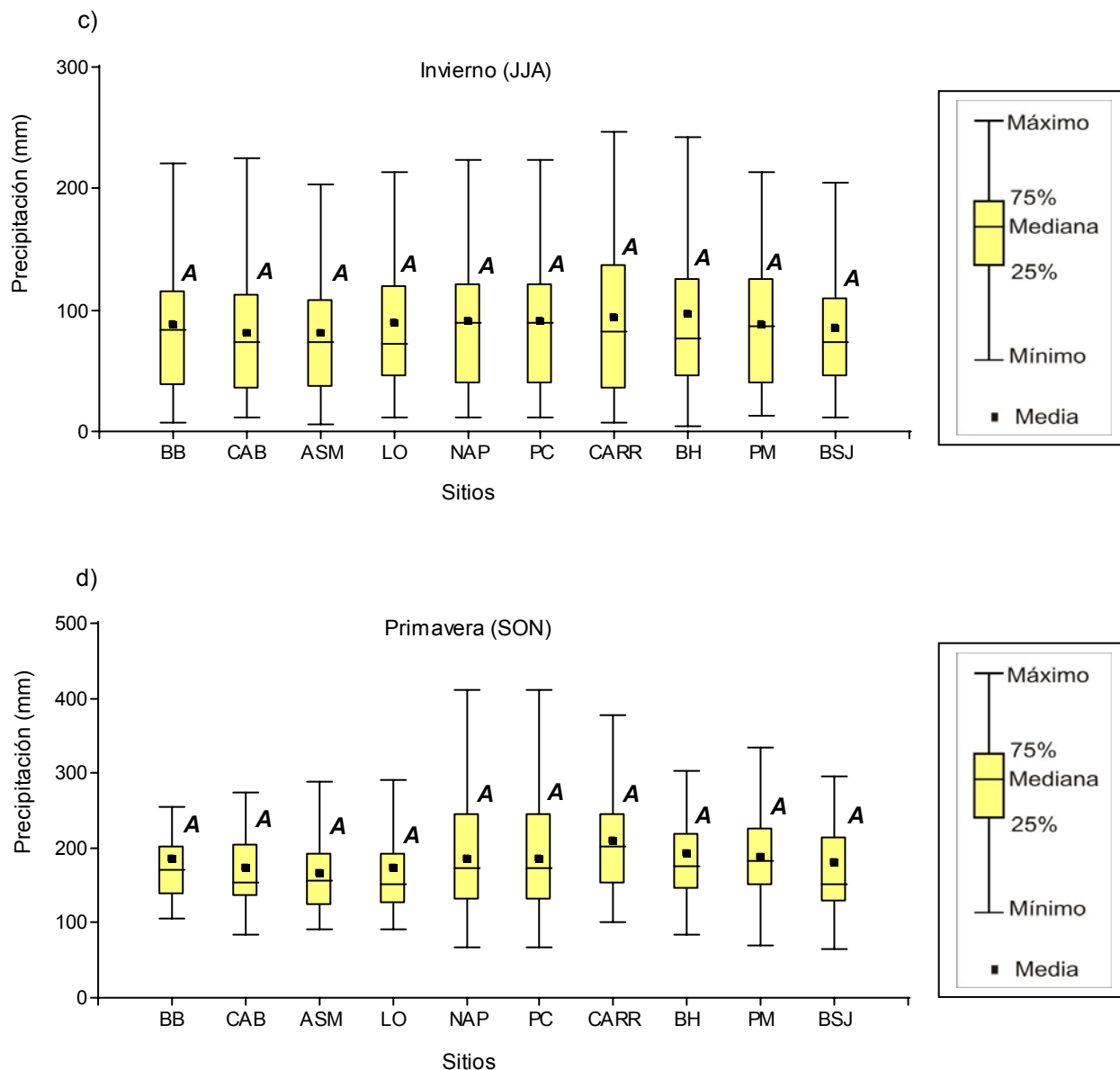


Figura 9. Gráfico de cajas comparando la distribución de la precipitación estacional entre los 10 sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42). a) Verano (DEF), b) Otoño (MAM), c) Invierno (JJA), d) Primavera (SON). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR= Carrindanga Norte. Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

La tendencia lineal de la precipitación estacional entre los sitios para la estación verano, no presentó diferencias significativas entre las pendientes de las rectas, con un nivel mínimo de aceptación ($p > 0,190$) para el par Alférez S. Martín y Carrindanga. No obstante, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la ordenada de origen entre: Carrindanga con Bahía Blanca, Cabildo y Las Oscuras; Las Oscuras con B. San José, Napostá y Bajo Hondo; y entre Napostá y Bajo San José. La pendiente ponderada de la tendencia fue ligeramente positiva (+0,09) y la varianza ponderada se tradujo en un DST de 86,4 mm. En las Figuras 10, 11, 12 y 13, se exponen las tendencias del verano, invierno, primavera y otoño, respectivamente, para las mismas localidades de los extremos del área de estudio (Bahía Blanca, Cabildo, Alférez S. Martín y Las Oscuras).

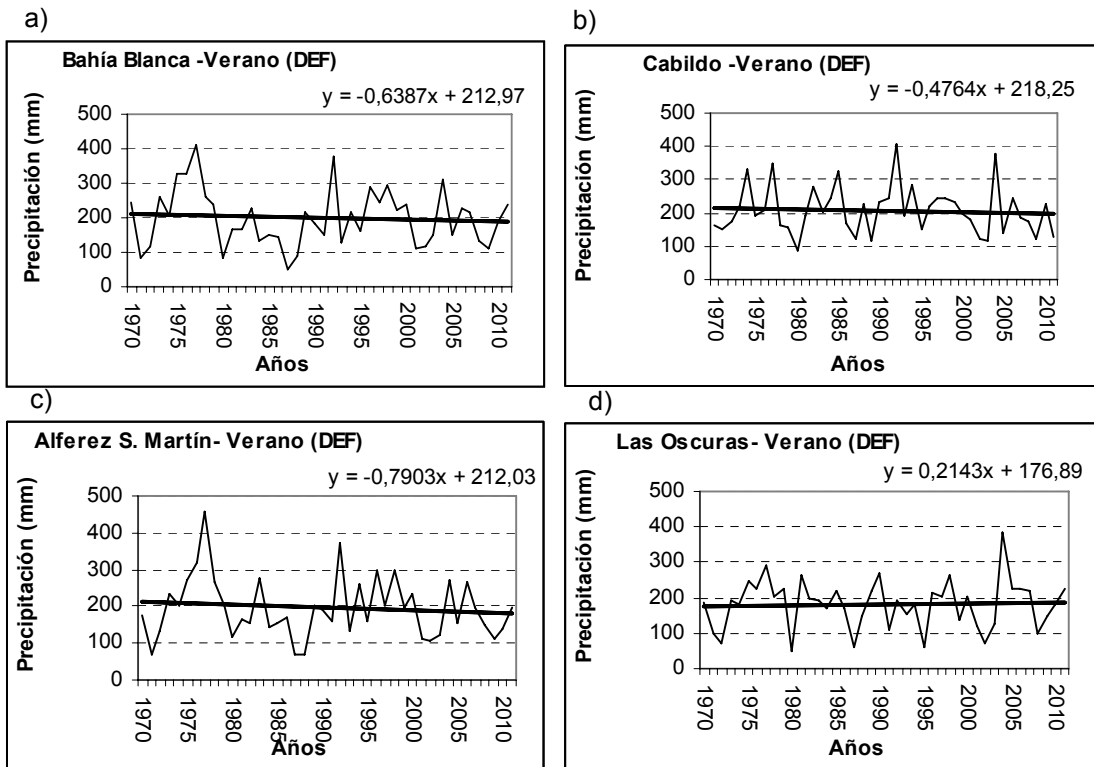


Figura 10. Precipitación de la estación verano (DEF) y su tendencia lineal, periodo 1970-2011 (n=42).
 a) Bahía Blanca, b) Cabildo, c) Alférez San Martín, d) Las Oscuras.

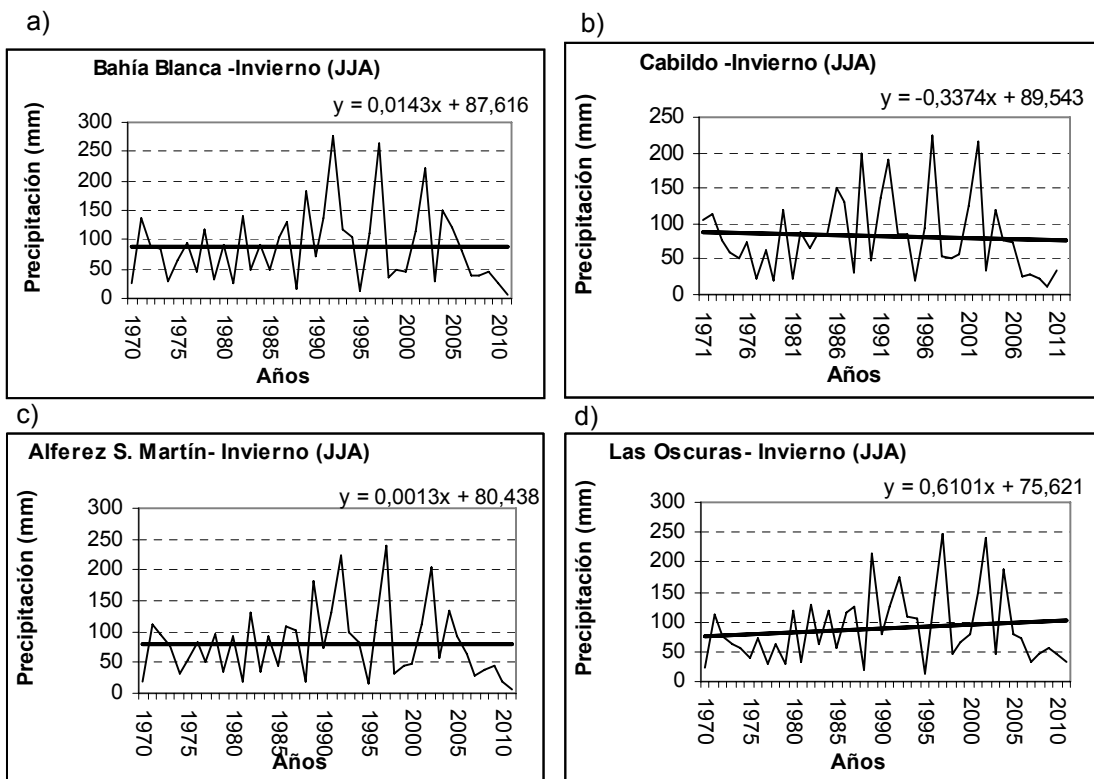


Figura 11. Precipitación de la estación invierno (JJA) y su tendencia lineal, periodo 1970-2011(n=42).
 a) Bahía Blanca, b) Cabildo, c) Alférez San Martín, d) Las Oscuras.

Las precipitaciones invernales tampoco presentaron diferencias significativas en las pendientes de las rectas ($p > 0,3135$). Pero sí, se encontraron diferencias altamente significativas en la ordenada de origen entre Paso Mayor y todas las localidades. La pendiente ponderada de la tendencia invernal fue positiva: 0,18 y la varianza ponderada manifestó un DST de 52,3 mm.

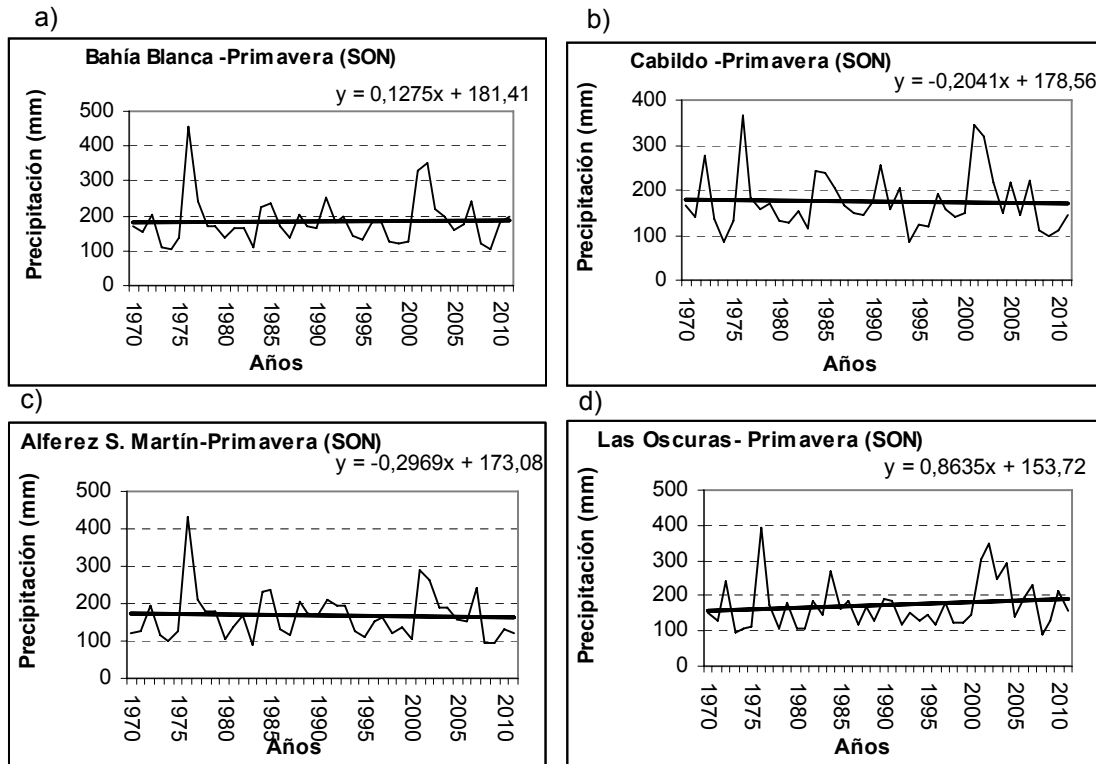
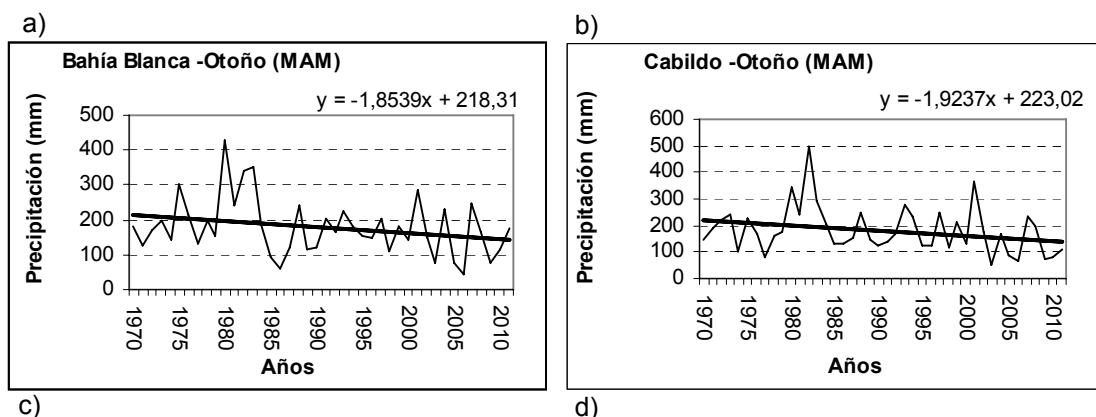


Figura 12. Precipitación de la estación primavera (SON) y su tendencia lineal, periodo 1970-2011(n=42). a) Bahía Blanca, b) Cabildo, c) Alferez San Martín, d) Las Oscuras.

En cuanto a las tendencias de primavera tampoco se encontraron diferencias significativas en las pendientes de las rectas con un nivel mínimo de aceptación de ($p > 0,1863$), al igual que en el Invierno para el par Napostá y Las Oscuras. Se encontraron diferencias ($p < 0,05$) en la ordenada de origen entre Cabildo con Las Oscuras, Alferez S. Martín y Naposta. La pendiente ponderada de la tendencia calculada fue también levemente positiva (+0,26) y la varianza ponderada manifestó un DST de 65,2 mm.



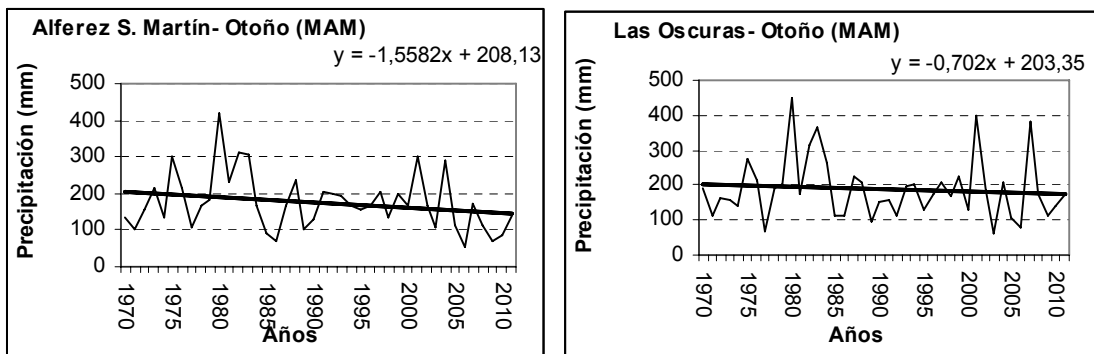


Figura 13. Precipitación de la estación otoño (MAM) y su tendencia lineal, periodo 1970-2011(n=42). a) Bahía Blanca, b) Cabildo, c) Alférez San Martín, d) Las Oscuras.

La tendencia de las precipitaciones de otoño manifestó un comportamiento diferencial al resto de las estaciones. Por un lado se encontraron diferencias significativas en las pendientes de las rectas de Napostá con Bahía Blanca, Cabildo y Paso Mayor, mientras en la ordenada de origen solo existió una diferencia entre Pehuen-Co y Alférez S. Martín. El otoño fue la estación donde todos los sitios manifestaron una tendencia negativa mayor a -1. La pendiente ponderada para los sitios donde no se hallaron diferencias fue de -1,57. La varianza ponderada arrojó un DST de 78,2 mm.

La literatura reciente (Mandebrot & Hudson, 2006; Taleb, 2007) resalta la atención al diseño de instrumentos de análisis de riesgos cuando las variables bajo estudio no están distribuidas normalmente, como es el caso de la función gamma. Esto hace que el rol de los “outliers” se vuelva mucho más importante, dado que si bien las colas de este tipo de distribuciones contienen eventos altamente improbables, los mismos se encuentran muy lejos de la media. Esto significa que en las mínimas ocasiones que estos eventos poco probables ocurren, su impacto suele tener consecuencias muy importantes por su magnitud claramente diferente, respecto a los efectos medios del evento bajo estudio. En el caso de la variable bajo estudio las FDP gamma determinadas para el clima actual permiten cuantificar el riesgo de ocurrencia de distintos niveles de precipitación (sequía e inundaciones) para cada sitio y estación.

3.1.3 Estudio de anomalías de la precipitación a través del IPE.

En la Figura 14 se ilustran los IPE1 e IPE3 y su tendencia lineal para las mismas localidades de los extremos del área de estudio (Bahía Blanca, Cabildo, Alférez S. Martín y Las Oscuras).

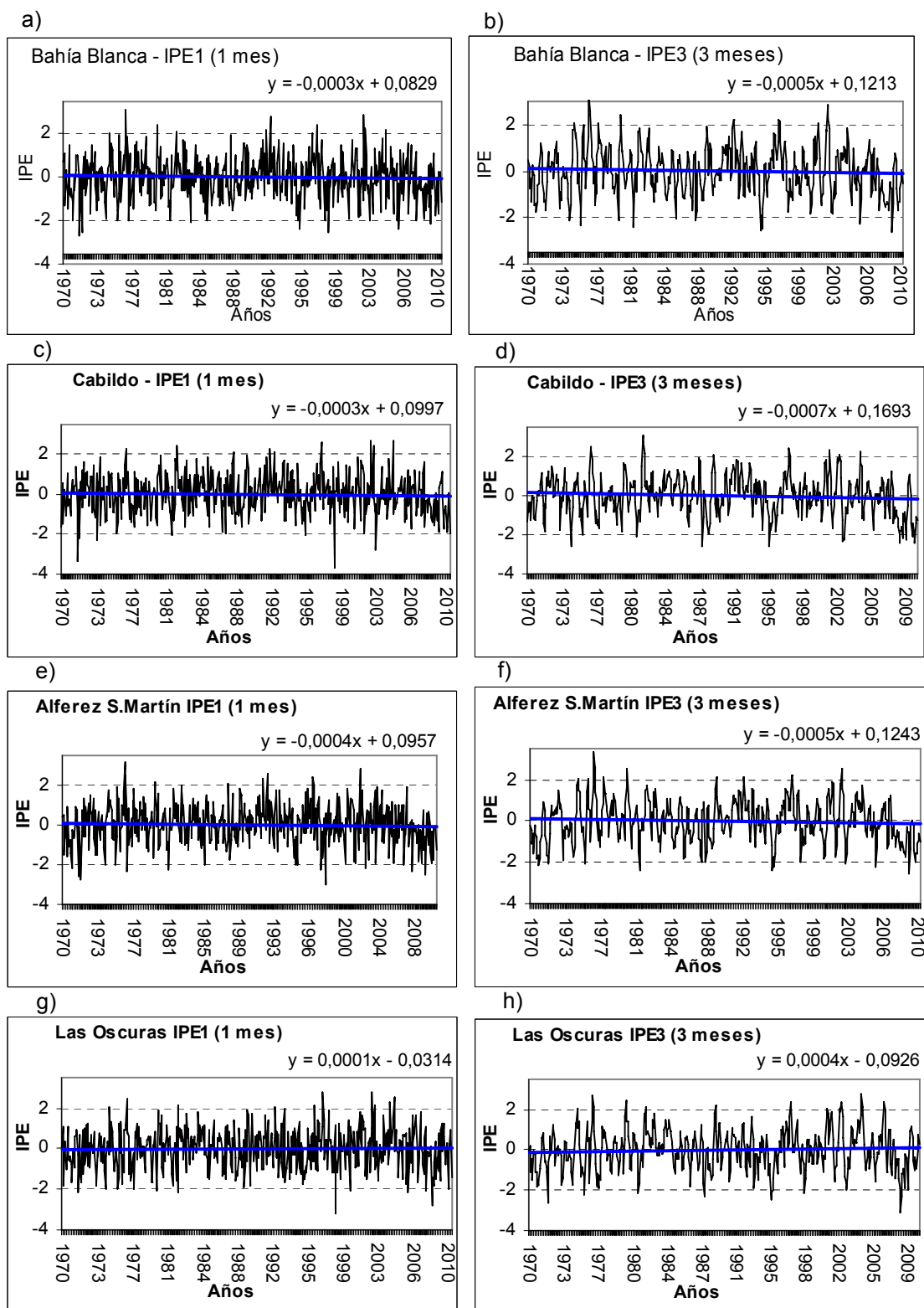


Figura 14. Índice de Precitación Estandarizado escala mensual (IPE1) y trimestral (IPE3), y su tendencia lineal para los sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42). a) Bahía Blanca (IPE1), b) Bahía Blanca (IPE3), c) Cabildo (IPE1), d) Cabildo (IPE3), e) Alferez San Martín (IPE1), f) Alferez San Martín (IPE3), g) Las Oscuras (IPE1), h) Las Oscuras (IPE3).

Se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de ocurrencia de anomalías para algunas intensidades, por la prueba de Friedman y comparaciones múltiples (Tabla 9). No se encontraron diferencias significativas entre sitios para la

anomalía seca extrema, sin embargo en la misma categoría para las húmedas, Bajo Hondo, Paso Mayor y Napostá presentaron una menor frecuencia de ocurrencia respecto a Pehuen-Co y Las Oscuras. En cuanto a las sequías severas Bajo Hondo, Paso Mayor y Napostá presentaron un mayor número de las mismas respecto a Bahía Blanca, Cabildo y Bajo S. José, mientras en las situaciones de humedad severa no se encontraron diferencias significativas. Las sequías moderadas fueron más abundantes en Bahía Blanca, Cabildo, Bajo S. José y Carrindanga Norte respecto a Alférez S. Martín, Paso Mayor, Naposta y Bajo Hondo. Las situaciones de humedad moderada fueron mayores en Carrindanga y Naposta frente a Bahía Blanca, Cabildo, Las Oscuras y Pehuen-Co. Por su parte en la manifestación de condiciones normales solo Pehuen-Co presentó una mayor frecuencia de ocurrencia respecto a Bahía Blanca, Carrindanga Norte, Alférez S. Martín, Naposta y Bajo Hondo.

Tabla 9. Frecuencia (%) de Anomalías húmedas, secas y condiciones normales para cada uno de los sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42). ASM= Alférez San Martín, LO=Las Oscuras, CAB= Cabildo, BB=Bahía Blanca, BSJ= Bajo San José, PM=Paso Mayor, NAP=Napostá Norte, BH=Bajo Hondo, PC=Pehuen-Co, CARR= Carrindanga Norte. Letras distintas indican diferencias significativas por test no paramétrico de Friedman ($p < 0,05$).

Categoría de Anomalía	BB	CAB	ALF	LO	BH	PM	BSJ	CARR	PC	NAP
Sequía extrema	2,0 a	3,0 a	2,0 a	1,8 a	2,5 a	2,4 a	1,8 a	2,2 a	2,0 a	2,0 a
Sequía severa	4,0 a	3,8 a	5,7 ab	4,7 ab	7,2 b	6,7 b	4,0 a	4,7 ab	5,5 ab	6,5 b
Sequía moderada	10,4 b	10,2 b	7,7 a	9,5 ab	7,8 a	6,9 a	10,4 b	11,4, b	7,9 ab	7,7 a
Sequía débil	16,1 b	11,3 a	15,2 ab	14,0 ab	13,9 ab	11,8 ab	14,6 ab	11,6 ab	13,0 ab	13,6 ab
Condiciones normales	37,0 a	41,0 ab	38,2 a	39,6 a	37,7 a	40,2 ab	39,0 ab	38,2 a	44,5 b	37,8 a
Humedad débil	16,1 b	15,7 b	15,2 ab	16,1 b	15,5 b	16,1 b	12,4 a	14,4 ab	12,2 a	15,9 b
Humedad moderada	7,5 a	7,7 a	8,5 ab	7,3 a	10,0 ab	10,0 ab	10,6 ab	11,0 b	7,9 a	11,0 b
Humedad severa	4,3 a	4,7 a	4,7 a	3,7 a	4,2 a	4,9 a	4,5 a	4,7 a	3,5 a	4,3 a
Humedad extrema	2,6 ab	2,4 ab	2,6 ab	3,3 b	1,2 a	1,0 a	2,6 ab	1,8 ab	3,5 b	1,2 a

A fin de resumir y hallar patrones progresivos de asociación del riesgo entre los sitios para las variables estudiadas: precipitación anual, estacional y de las anomalías extremas de manera conjunta, se procedió en el punto 3.1.4 a regionalizar los comportamientos observados en las FDP de cada sitio a través de un análisis multivariado de conglomerados.

3.1.4 Asociación de zonas progresivamente homogéneas respecto al riesgo de la precipitación:

Al aplicar el método de cluster a las FDP de varias variables pluviométricas en un territorio, se busca asociar sitios en función de sus semejanzas progresivas, de forma tal de lograr delimitar subregiones que constituyan zonas homogéneas con la mejor coherencia interna de las variables analizadas. Los niveles de asociación entre los sitios, a partir del método de encadenamiento promedio por distancia euclídeas, se exponen en la Figura 15.

A nivel de las dos subregiones menos homogéneas quedaron conformadas los siguientes clusters coincidentemente con 5 sitios en cada una:

Cluster 1: (Bahía Blanca, Alférez S. Martín, Bajo Hondo, Las Oscuras, Pehuen-Co)

Cluster 2: (Carrindanga Norte, Naposta Norte, Cabildo, Bajo S. José y Paso Mayor)

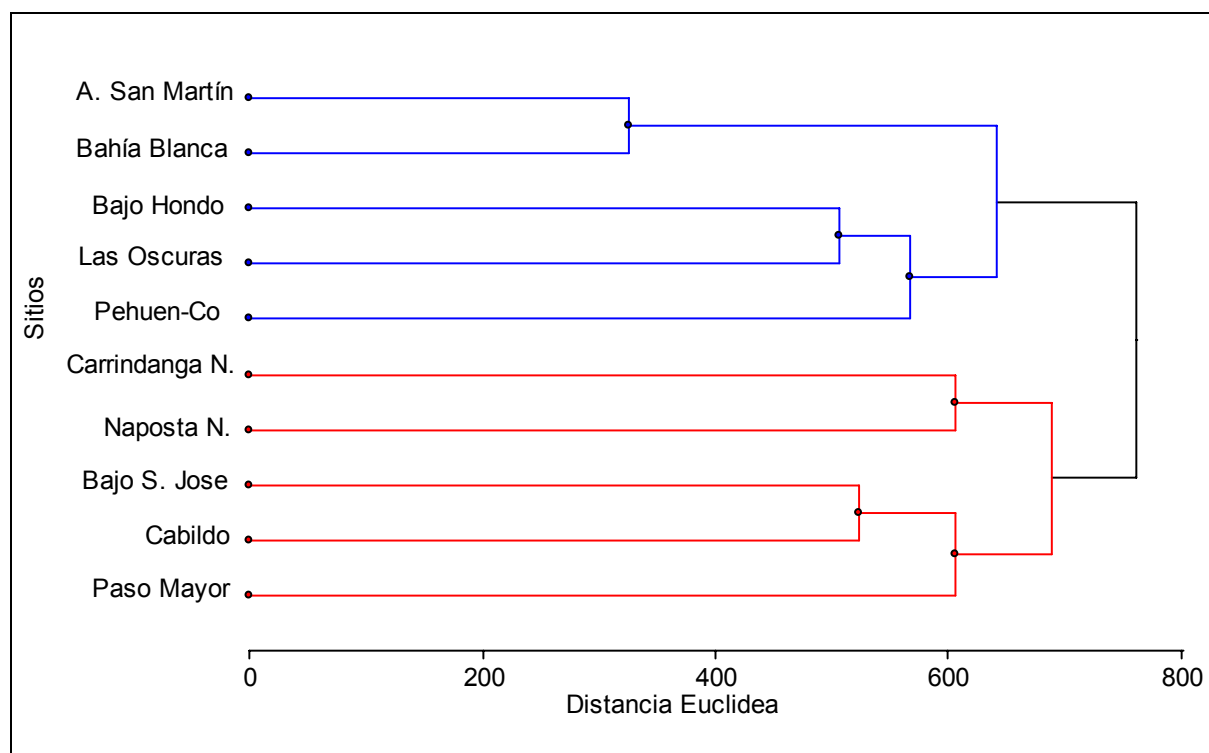


Figura 15. Análisis de cluster a partir de las variables precipitación acumulada anual, precipitación estacional (verano, otoño, invierno y primavera) y frecuencia de ocurrencia de anomalías de la precipitación de distinta intensidad para los 10 sitios evaluados, periodo 1970-2011 (n=42).

La distancia euclídea encontrada para la conformación del cluster 1 fue de 644 mientras para el cluster 2 fue de 682, donde ambos cluster se unen a una distancia de 758. Los sitios dentro del cluster 1 se encontraron más próximos entre sí respecto a los del cluster 2, sugiriendo que esta subregión manifestaría una ligera mayor semejanza en los patrones de riesgo de ocurrencia de sus precipitaciones. Este hecho se puede observar en que 2 pares de sitios (Bahía Blanca-Alférez S. Martín y Bajo Hondo-Las Oscuras) del cluster 1 ya se encontraban asociados a una distancia euclídea de 510, cuando recién se formaba la primera asociación en el cluster 2 (Cabildo y Bajo S. José) a una distancia de 522. Asimismo, en el cluster 1

Pehuen-Co se unía al grupo de Bajo Hondo y Las Oscuras ya agrupados a una distancia de 564, previo a la asociación de los demás pares del cluster 2. Los sitios más semejantes fueron Bahía Blanca y Alférez S. Martín (distancia 315) que fueron los únicos que se asociaron a una distancia (41%) menor a la mitad de la distancia total de asociación entre todos los sitios (cluster 1 y 2).

A nivel de su localización geográfica y factores geofísicos distintivos, se observa una relación entre los sitios del cluster 1 y su ubicación en la zona costera y los del cluster 2 con la zona más alejada de la costa y de mayor altitud. Estos resultados son consistentes con relaciones climáticas generales (Peck & Brown, 1962; Hartmann, 1994; Shafer *et al.*, 2006), que demuestran la relación existente entre el incremento de la precipitación y el aumento de la altitud.

El presente análisis de conglomerados permite indagar el patrón de asociación progresiva de los sitios en función de las características de la distribución de las precipitaciones dentro de la zona de estudio. Los mismos son útiles para reconocer tendencias internas del cambio espacial de esta variable.

No obstante, los resultados hallados en el estudio de las variables de precipitación acumulada anual, estacional y de anomalías previo, permitió visualizar que la región de estudio presenta un alto grado de homogeneidad en cuanto al comportamiento de la precipitación, donde si bien, se encontraron algunas diferencias significativas, las mismas fueron entre pocos sitios, para una cantidad reducida de las variables analizadas y con diferencias de baja magnitud (< 25%).

Por este motivo, se decidió aplicar el estudio subsiguiente de las Hipótesis 2 y 3, a la totalidad del área de los partidos de Bahía Blanca y Cnel Rosales, por haberse comprobado la misma, como una zona de una relativamente alta homogeneidad, lo cual categorizaría para los fines de dichos estudios de hipótesis.

3.2. Resultados obtenidos para validar la Hipótesis 2

Hipótesis 2a: *El incremento del calentamiento que experimenta el planeta, está generando cambio en el comportamiento de la precipitación en numerosas regiones del mundo con intensidad variable. El área de estudio sería una región en la cual el CCG ya ha introducido variaciones en las distribuciones de probabilidad de las precipitaciones históricas, con tasas de cambio aún no cuantificadas.*

Hipótesis 2b: *De continuar dicho fenómeno, se generaría una nueva modificación en las distribuciones de probabilidad de las precipitaciones diferente a las observadas en el clima hasta el presente.*

Objetivo específico 2a: *Evaluar la existencia de evidencias de cambio climático en la distribución de la precipitación de la región de estudio hasta el presente y cuantificar el nivel del cambio.*

Objetivo específico 2b: *Estudiar a partir de los MCG mundiales más confiables en la actualidad, el comportamiento esperado en la distribución la precipitación en respuesta al CCG para el futuro cercano (2012- 2050).*

3.2.1. Evidencias de incidencia del cambio climático en la distribución de la precipitación en el clima presente de la zona de estudio.

El análisis de tendencia por promedio móvil (11 periodos) permitió visualizar un comportamiento de ciclos húmedos y secos entre 1860 y 1960 con una

periodicidad de 20 a 40 años (Fig. 16). Desde el inicio de la serie estudiada, hasta la década de 1960 se distinguieron 3 ciclos completos de altas y bajas (1860-1895, 1896-1925, 1926-1946), que fueron relativamente semejantes tanto en magnitud como duración. Sin embargo, hacia finales de la década del '60 se observa un cambio marcado de la tendencia móvil, que se acentúa en las décadas siguientes. Si bien, durante el periodo 1961-2011 este comportamiento cíclico de la precipitación anual se mantiene, se observa un corrimiento alcista de dichos ciclos, evidenciado por medias de las fases húmedas y secas superiores, a la de los ciclos previos entre 1860 a 1960. Este hecho se puede visualizar también en que el cuarto ciclo de ascenso de la tendencia móvil, iniciado en 1947 no vuelve a descender hasta los valores mínimos de las fases secas (450 mm) que venía registrando el patrón de los tres ciclos previos, cuando se hubiese esperado que ocurriera posteriormente a 1965. Más bien, la tendencia móvil continúa su escalada hasta niveles no observados nunca antes en el registro. Esta situación se agudiza cuando se observa que los descensos de la tendencia móvil, en las fases secas a partir de 1965, solamente alcanzan los niveles de los picos máximos históricos de las tendencias húmedas de los ciclos previos (1860-1960). No obstante, la variabilidad propia de una zona semiárida permite observar años específicos con precipitaciones por debajo de los 400 mm, pero que no llegan a afectar la dirección de la tendencia móvil como en el periodo 1860-1960.

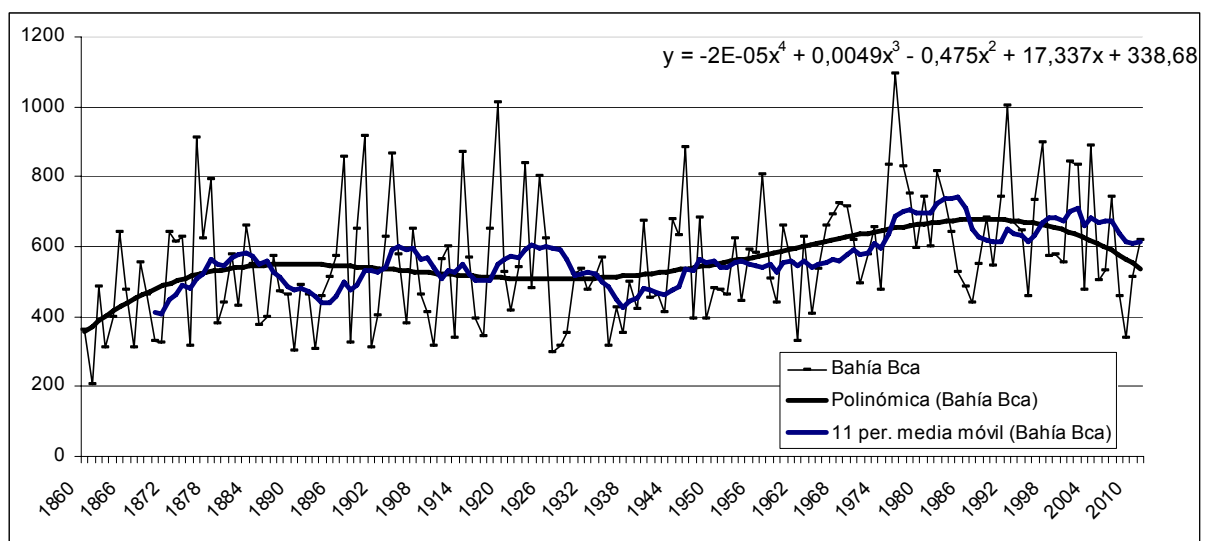


Figura 16. Evolución de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca, periodo 1960-2011, análisis de tendencia por polinomio de cuarto orden y por promedios móviles de 11 periodos (n=152).

La tendencia polinómica de cuarto orden, también sugiere el inicio de un punto de inflexión en la década del '60, dado por un ascenso de la misma, que alcanza su valor máximo a principio de la década del '90. Este hecho indica un cambio significativo en la tendencia de las precipitaciones en la región de estudio a partir de los '60. Asimismo, el valor máximo alcanzado por la tendencia polinómica en la década del '90, no reporta antecedentes en el comportamiento de dicha tendencia en los 130 años previos de registro en la zona de estudio y la tasa de cambio ($\Delta y/\Delta x$) observable entre 1960 a 1990 es muy alta, localizándose en $2,55 \text{ mm año}^{-1}$.

A partir de 2005 se observa un descenso de la tendencia polinómica, que podría estar indicando un comportamiento cíclico de largo plazo, como el que se puede observar en dicha tendencia entre 1860 y 1960. No obstante, esta reducción observada, recién alcanza niveles semejantes a los del pico máximo de este tipo de tendencia antes de 1960. La alta pendiente negativa de esta reducción de la tendencia entre 2005 y 2011, podría deberse a la ocurrencia aleatoria de algunos años de bajas precipitaciones, que por hallarse al final del periodo al cual se aplicó la tendencia traccionan fuertemente para reducir los valores de la misma de forma muy marcada en pocos años. El mismo efecto podría estar ocurriendo de manera opuesta en el inicio de la serie de tendencia en 1860, que al iniciarse con un año de muy bajas precipitaciones manifiesta un crecimiento muy marcado al inicio de la tendencia polinómica. Por este motivo, el análisis de mayor certidumbre debe centrarse en el comportamiento observado de la tendencia fuera de la zona de los extremos de la misma.

El análisis de los dos tipos de tendencia, estarían sugiriendo que a partir de la década del '60 se observa en el registro de lluvias de Bahía Blanca, un cambio substancial en los niveles máximos y mínimos de la estructura cíclica histórica, respecto a lo que se venía experimentando previamente.

El análisis estadístico por comparación de mediana de K-W detectó diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) del periodo 1860-1960 respecto a 1961-2011 (Fig. 17).

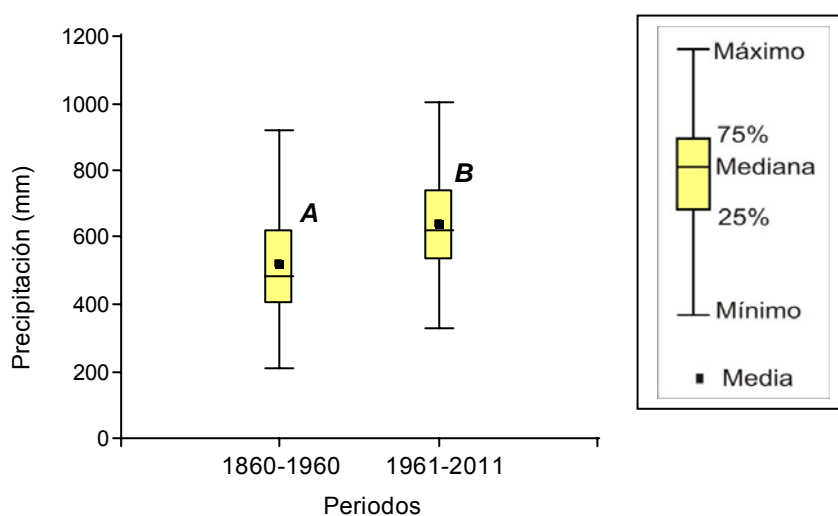


Figura 17 .Gráficos de cajas comparando la distribución de la precipitación entre el periodo 1860-1960 (n=101) y 1961-2011(n=51). Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

El periodo 1960-2011 presentó un incremento ($p < 0,0001$) del 22,7% (118 mm) y 28,9 % (139 mm) de las media y mediana respectivamente sobre el periodo previo 1860-1960. Este hecho estaría corroborando un corrimiento positivo de la FDP de precipitación acumulada anual a partir de 1961.

A los fines de la evaluación del riesgo se determinó las FDP (Fig. 18) de la distribución observada de la precipitación para cada periodo. El periodo 1860-1960 manifestó un mejor ajuste a una función gamma de parámetros alfa: 10,48 y beta: 49,58 ($p < 0,0224$, por método K-S) que varió entre 207,4 y 1010 mm. Mientras el

periodo 1961-2011 evidenció su mayor ajuste a una función normal, ($p < 0,306$, K-S), con una media 638 mm y DST 160 mm, que varió entre 331 y 1093 mm.

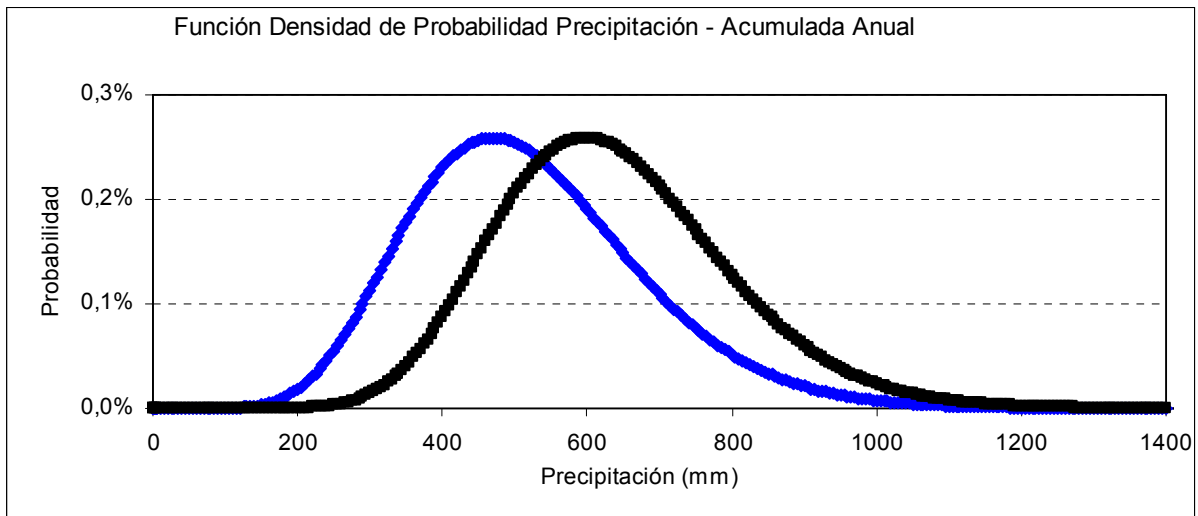
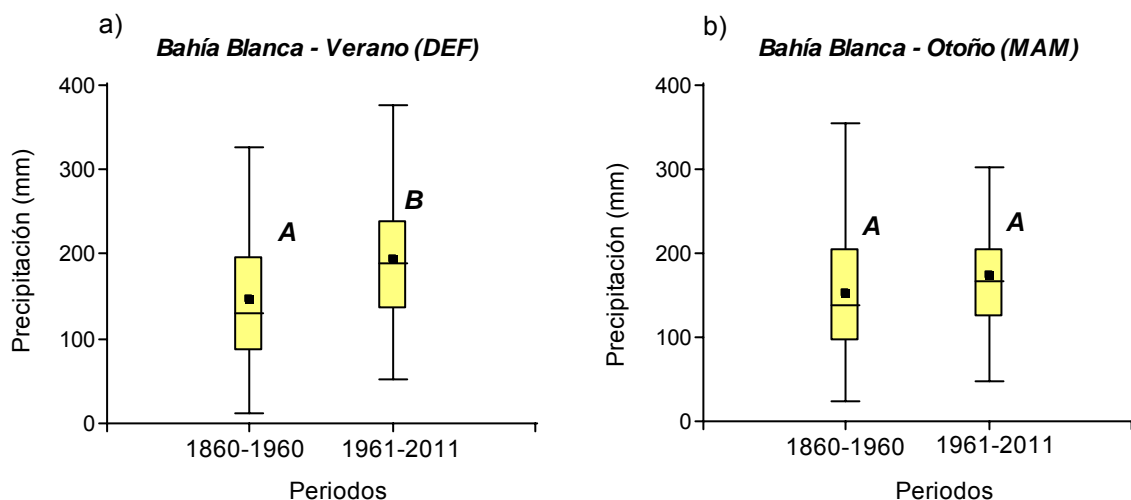


Figura 18. Función densidad de probabilidad de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca. Azul= Periodo 1861-1960 (n=101), Negro= Periodo 1961-2011(n=51).

La FDP determinada, permite señalar que la distribución histórica de precipitaciones observada en el periodo 1860-1961 manifiesta un riesgo del 39,3 y del 7,7% de presentar un ejercicio con una precipitación menor a 450 mm y mayor a 750 mm, respectivamente. Mientras la distribución observada en el periodo siguiente 1961-2011 expone una probabilidad del 11,6% y 26,6 %, respectivamente para los mismos niveles de precipitación.

Para el mismo análisis aplicado por estaciones del año (Fig. 19) encontramos diferencias (K-W) en la precipitación del periodo de verano ($p < 0,0009$) y primavera ($p < 0,0022$). Para el invierno ($p > 0,083$) y el otoño ($p > 0,065$) no detectamos diferencias significativas, si bien los niveles de significación fueron muy cercanos al 5%.



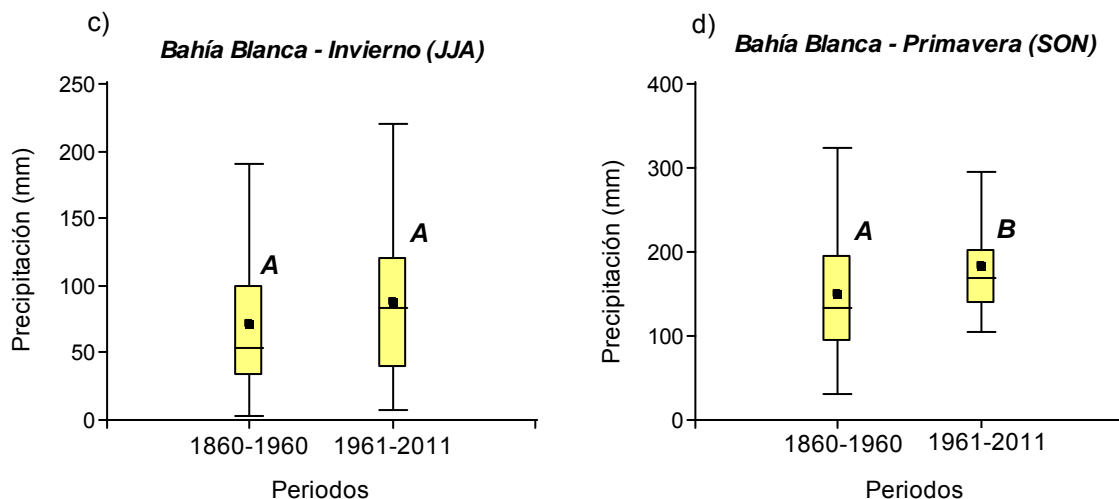


Figura 19. Gráfico de cajas comparando la distribución de la precipitación entre el periodo 1860-1960 (n=101) y 1961-2011(n=51) para las distintas estaciones calendario, a) Verano (DEF), b) Otoño (MAM), c) Invierno (JJA), d) Primavera (SON). Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

La precipitación del verano en el periodo 1961-2011 marcó un aumento del 31% y 45 % en su media y mediana, respectivamente, mientras en la primavera este aumento fue del 23% y 27 %, respectivamente.

Los resultados hallados estarían indicando que los aumentos en la mediana de la precipitación acumulada anual en el periodo 1961-2011, estarían mayoritariamente explicados por un incremento de las precipitaciones primavero-estivales.

Discusión:

Los resultados hallados para la región de estudio, en cuanto a evidencias de efectos del cambio climático sobre la distribución de la precipitación a partir de finales de la década de 1960, fueron consistentes, si bien en magnitudes diferentes, con los observados en otros estudios a nivel nacional e internacional reportados por la literatura.

Los trabajos de Santer *et al.* (1996); Tett *et al.* (1996); Hegerl *et al.* (1997) incorporan evidencias de que a nivel mundial se observan cambios en el clima, con diferente magnitud, los cuales habrían sido influenciados por la actividad antrópica a partir de la década del '60.

Castañeda *et al.* (1994) reportan una tendencia positiva al incremento de la precipitación desde 1916 a 1991, que se magnifica a partir de 1950, en el sur de Sudamérica y al este de los Andes. En el oeste de la zona semiárida pampeana determinaron un incremento de $0,5$ a 1 mm año^{-1} que representaría un aumento acumulado de 50-80 mm en la precipitación media anual hacia finales de siglo XX. Estos autores estiman que dicho cambio sería de gran significancia para la ecología y sistemas de producción de la región.

Hoffman (1987) en un estudio de la variabilidad climática en Argentina, trabajando con promedios decádicos de un amplio número de estaciones

meteorológicas, encontró que las isohietas de 1400, 1000, 800 y 600 mm en el periodo 1971-1980 se corrían cientos de kilómetros hacia el oeste respecto a las observadas entre 1921-1950. Pascale & Torre de Farsi (1987) detectaron un aumento significativo de las precipitaciones y las condiciones hídricas en el semestre cálido, en el sudoeste de la región pampeana, a partir de la década de 1970. Por su parte, Krepper *et al.* (1987) verificaron un aumento de la precipitación media respecto de las registradas a principio de siglo y un corrimiento de la isohieta de 600 mm hacia el sur-oeste en las provincias de Córdoba, La Pampa y Buenos Aires, que atribuyeron al fenómeno de CCG.

Viglizzo *et al.* (1995) mencionan que al igual que otras regiones del mundo, la región pampeana Argentina estaría experimentando alteraciones en el comportamiento de las precipitaciones, que atribuye al fenómeno de CCG, dignas de ser tenidas en cuenta por su magnitud relativa. Estos autores destacan que a partir de la década del '70 en el este de La Pampa se observó un aumento de la superficie sembrada y los rendimientos de los cultivos de cosecha gruesa en mayor proporción que los de invierno, tradicionales en esta región, respondiendo a un aumento de la precipitación estival. También en La Pampa, Roberto *et al.* (1994) reportan que el trazado de las isohietas de 700 y 600 mm anuales experimentó un desplazamiento entre 140 y 150 km, respectivamente, en el periodo de 1956-1990 frente a 1921-1955. Dichos autores remarcan que los mayores corrimientos se observaron en las isohietas de mayor milimetraje anual y en las estaciones de primavera y verano. Pérez *et al.* (1999) encontraron tendencias positivas de la precipitación para los trimestres N-D-E y F-M-A entre 1921 y 1998 para la localidad de Anguil (La Pampa). En un trabajo previo, Viglizzo *et al.* (1991) resaltan que siendo la región pampeana central una zona de transición semiárida, se observa que las actividades agrícolas y las lluvias se correlacionan según patrones bastante precisos que coinciden con el movimiento de las isohietas de mayor precipitación hacia el oeste, en las últimas décadas. Sierra *et al.* (1994) informa valores semejantes para la provincia de Buenos Aires en un estudio de series entre 1941 y 1990.

Minetti *et al.* (1995) en un estudio de transectas en la región pampeana a través de modelos de comportamiento del coeficiente de variación y sesgo de la precipitación, demostraron que los cambios en dicha variable, se experimentaron en largos periodos de tiempo (superiores a los 20 años), encontrando diferencias significativas entre el comportamiento previo y posterior a la década del '50. López Gay *et al.* (1996) observaron una tendencia positiva al aumento de la cantidad de agua acumulada en los suelos de la región pampeana entre 1956 y 1993 respecto al periodo previo 1910-1955.

Donari & Scian (1996) en un estudio en base al índice de sequía de Palmer aplicado al Sudoeste de Buenos Aires, si bien verificaron la ocurrencia interanual de periodos secos y húmedos, identificaron a partir de la década de 1970 un incremento de la frecuencia de ocurrencia de los episodios húmedos.

Este corrimiento en términos generales, de las isohietas de más de 600 mm, en gran parte de la región semiárida pampeana a partir de la década del '60, se evidencia también a partir de cambios substanciales en los sistemas de producción. Los mismos son observables en una transición de una gran proporción de la superficie de los sistemas tradicionalmente ganaderos a la agricultura y el consecuente corrimiento de la frontera agrícola pampeana (Obschatsko & Del Bello, 1986; Pizarro & Casacardo, 1991; FAO, 2004). Si bien, se pueden identificar factores

externos que propiciaron este cambio, principalmente de tipo macroeconómicos (precios internacionales, eliminación impuestos exportación), como tecnológicos (fertilizantes, siembra directa, transgénicos, etc), seguramente, dichas transformaciones productivas no hubiesen alcanzado las magnitudes observadas, de no haber sido acompañadas por los cambios positivos expuestos en la distribución de las precipitaciones en zonas marginales, previas a los efectos inferidos del CCG.

Minetti *et al.* (1989); Compagnucci & Vargas (1998); Scian *et al.* (1997) y Scian *et al.* (2006) identificaron que gran parte de los incrementos observados en las distribuciones de la precipitación en el sur de Sudamérica durante los períodos mencionados serían atribuibles a modificaciones en los patrones de circulación de la atmósfera a gran escala. Principalmente, a corrimientos del anticiclón semipermanente del Atlántico Sur que define un rol preponderante en las lluvias de verano, mientras que el Anticiclón del Pacífico Sur lo hace en invierno (Minetti & Vargas, 1999; Nicolini & Saulo, 2006).

Por otro lado, Scian (2001) verificó una mayor frecuencia de ocurrencia del fenómeno ENSO a partir de la década de 1970, que determinó una mayor penetración de masas húmedas en la región pampeana. A su vez Mantua *et al.* (1997) y Zhang *et al.* (1997) encontraron una alta relación de dicho fenómeno con la Pacific Decadal Oscillation (PDO) y la Oscilación Antártica (OA). Estos eventos afectarían indirectamente el patrón de lluvias en la región sur de Argentina al modificar el flujo de humedad (Labraga *et al.*, 2002; Scian *et al.*, 2006). Estas variaciones en la circulación atmosférica planetaria, se encontrarían en relación con anomalías en la temperatura de la superficie del mar en distintas cuencas oceánicas influenciadas por el CCG, que influirían en un amplio rango de escalas de tiempo, afectando la normal distribución espacial y temporal de las lluvias (Mo, 2000).

Vergara (2008) analizando las tendencias de las lluvias en la zona Norte de La Pampa a través de regresión lineal y polinomios de distinto grado en el periodo 1921-2000, visualizó un aumento de la precipitación anual a partir de la década del '70. Analizando la contribución del cambio pluviométrico de manera trimestral, encontró que las tendencias lineales de los trimestres de primavera y verano fueron positivas (1,26 y 2,41, respectivamente; $p < 0,01$). Ambos trimestres ajustaron a un polinomio de tercer grado que fueron los que explicaron la mayor proporción de variabilidad observada de las mismas (17% y 31%, respectivamente).

Labraga *et al.* (2002); Scian *et al.* (2006), identificaron cambios en periodos de varios meses consecutivos de exceso o déficit de lluvia en la región pampeana en la segunda mitad del siglo pasado, asociadas con anomalías en la circulación atmosférica regional, relacionadas a modificaciones en el calentamiento de los océanos. En estas tendencias se observa a partir de la década del '70 un predominio de las anomalías húmedas por sobre las secas, observable en un cambio del patrón de frecuencias de ocurrencia.

Agosta y Compagnucci (2008) exponen que la comparación del clima de periodos anteriores a la década de 1960-1970, respecto a periodos posteriores no es subjetiva, si no que está basada en los cambios en la temperatura media mundial significativos, variaciones que pueden considerarse como cambios climáticos globales, que han tenido influencias marcadas sobre el resto de las variables meteorológicas.

La literatura científica permite corroborar las evidencias de cambio climático en el sur de Sudamérica. Los resultados de esta tesis confirman y cuantifican el nivel de impacto del CCG al presente sobre la región de estudio.

3.2.2. Prospectiva de la Incidencia del cambio climático sobre la distribución de la precipitación hasta 2050 en la zona de estudio.

El primer aspecto analizado en la utilización de modelos de predicción climática fue el grado de similitud entre las predicciones realizadas por el ensamble de modelos respecto al clima histórico. Este hecho permitiría certificar una alta capacidad del mismo, para representar las relaciones climáticas en la zona de estudio y por lo tanto ser utilizado posteriormente para el estudio de las señales de cambio climático en el futuro cercano.

La bondad del ajuste observada entre las FDP del periodo (1961-2011) de la salida global del ensamble, respecto a la de los datos de precipitación acumulada anual históricos fue alta, alcanzando un coeficiente de correlación del 98% entre ambas funciones ($p < 0,0001$). Asimismo la Prueba K-W entre las medianas de ambas funciones de probabilidad de datos observados respecto a los modelados (Fig. 20), aceptó la falta de evidencias de diferencias entre las medianas con un alto nivel de significancia ($p > 0,60$). Estos resultados, permitirían incrementar el nivel de confianza para la predicción de las FDP obtenidas por el ensamble para el futuro cercano en el periodo siguiente 2012-2050.

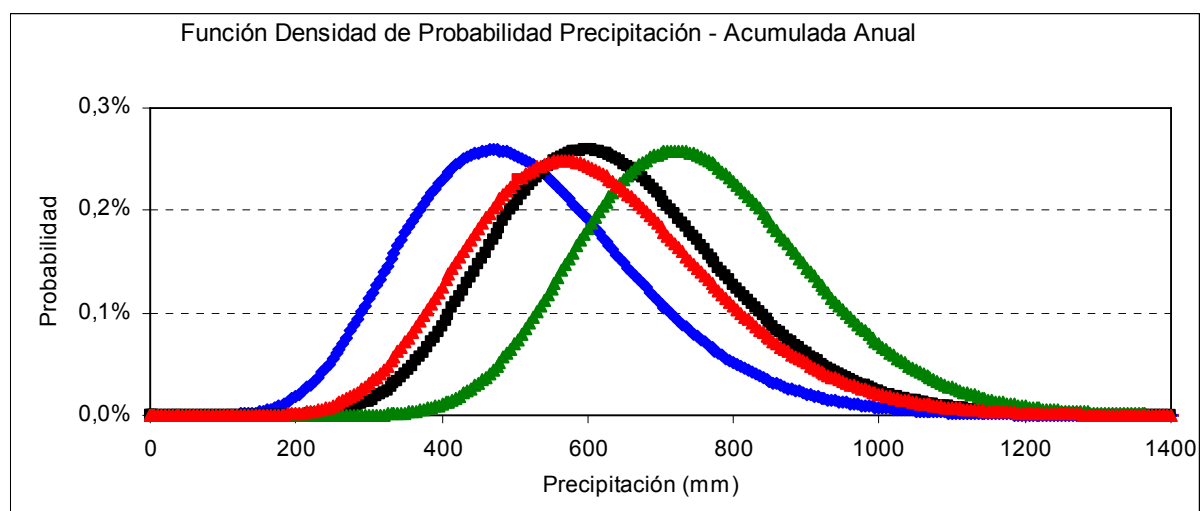


Figura 20. Función densidad de probabilidad de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca. Azul= Periodo histórico real 1861-1960 (n=101), Negro= Periodo histórico real 1961-2011(n=51), Rojo= Periodo 1961-2011 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=51), Verde= Periodo 2012-2050 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=39).

En la Figura 21 se presentan las FDP determinadas para las distribuciones de precipitación acumulada anual para el periodo 1961-2011 y el proyectado 2012-2050 por el ensamble de modelos de predicción climática, respecto a las FDP históricas determinadas anteriormente para los periodos 1860-1960 y 1961-2011.

Ambos periodos simulados mostraron su mayor ajuste a una función gamma. El periodo 1961-2011 indicó parámetros alfa: 13,6 y beta: 44,8 ($p < 0,0233$, K-S) y el rango varió entre 189 mm y 1008 mm, mientras que en el periodo 2012-2050 los

parámetros resultaron: alfa= 23,0 y beta= 32,7 ($p < 0,0291$, K-S) con un rango entre 349,1mm y 1322 mm.

La tendencia por promedio móvil (11 periodos) mostró que el comportamiento de ciclos húmedos y secos con una duración entre 20 a 40 años observado entre 1860 y 2011, continuaría en el periodo proyectado 2012-2050. Sin embargo, se observa una nueva tendencia al incremento de los picos máximos en los ciclos húmedos y de los niveles mínimos en los ciclos secos. Esta tendencia al incremento que se observa en la región de estudio en el periodo 1961-2011 respecto a 1860-1960, continuaría en ascenso en el periodo 2012-2050. Este comportamiento sería congruente con el incremento de las temperaturas medias planetarias esperado en el escenario climático de simulación (A2) hasta el 2050 (Krüger *et al.*, 2012). Asimismo, sería consistente con la relación observada en la serie histórica estudiada (1860-2011) que verifica un aumento de la precipitación media anual a medida que se incrementan las temperaturas medias globales.

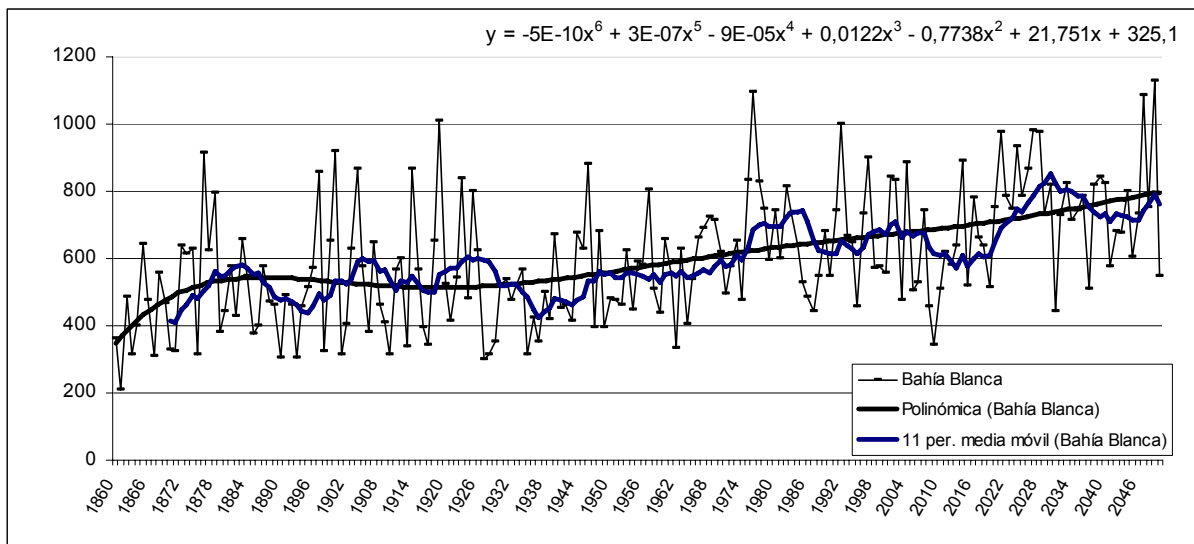


Figura 21. Evolución de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca del periodo histórico real entre 1860-2011 ($n=152$), integrado al periodo simulado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera para el periodo 2012-2050 ($n=39$). Tendencia por función polinómica de sexto orden, y por promedios móviles de 11 periodos.

La tendencia polinómica de sexto orden estaría indicando que más allá de la ocurrencia cíclica de periodos secos y húmedos se mantendría la tendencia al incremento de la precipitación media anual atribuible al CCG, iniciado en la década de 1960. En este sentido, la tasa de cambio observada en el periodo 2012-2050 fue de $2,17 \text{ mm año}^{-1}$, la cual fue ligeramente inferior a la observada entre 1961-2011 ($2,35 \text{ mm año}^{-1}$). También se visualiza que se experimentaría la ocurrencia normal de años extremadamente secos y húmedos, característicos de una zona de transición climática o semiárida de alta variación interanual, pero con una media superior.

La FDP de la precipitación acumulada anual del periodo de predicción (2012-2050) mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) de las medianas por la prueba K-W, respecto a los periodos previos de 1860-1960 y al inmediato anterior 1861-2011, tanto para la FDP histórica real como para la modelada por el mismo ensamble (Fig. 22). El periodo 2012-2050 modelado expuso un incremento del

20,9% (130 mm), 24,5% (148 mm) y 55,9% (337mm) de las medianas respectivamente, para los periodos previos (1961-2011) observado y (1961-2011) modelado y 1860-1960 observado.

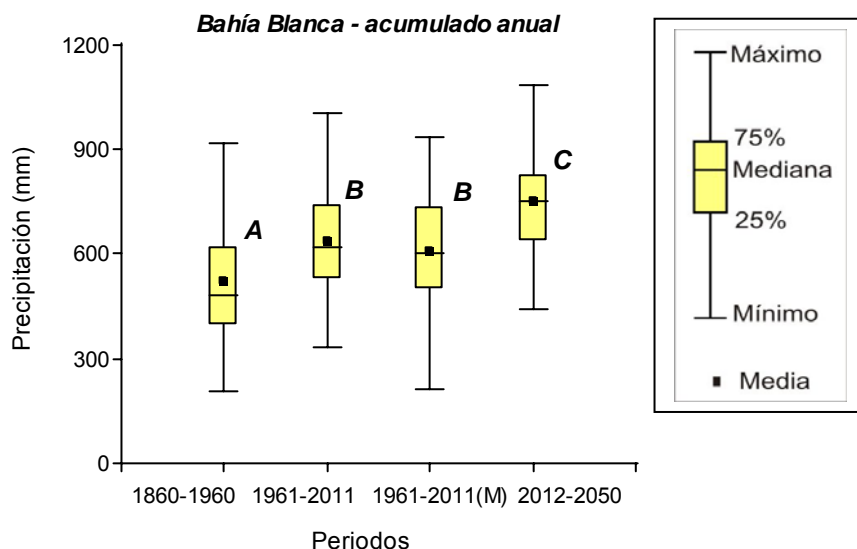


Figura 22. Gráfico de cajas comparando la distribución de la precipitación acumulada anual de Bahía Blanca. 1860-1960= Periodo histórico real 1861-1960 (n=101), 1961-2011= Periodo histórico real 1961-2011(n=51), 1961-2011(M)= Periodo 1961-2011 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=51), 2012-2050= Periodo 2012-2050 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=39). Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

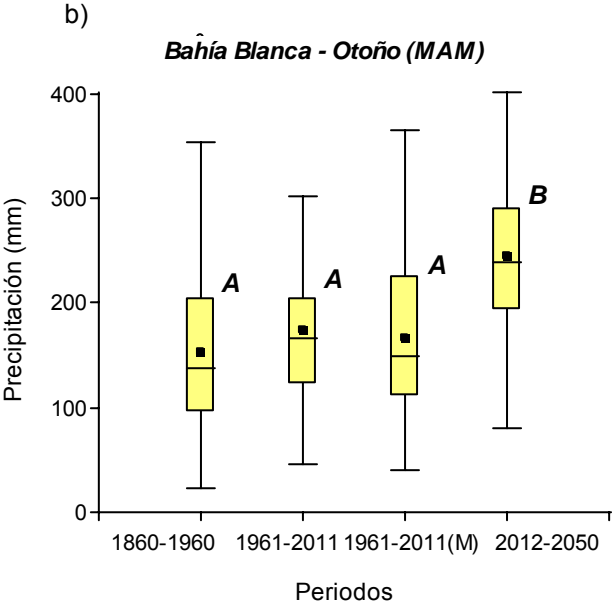
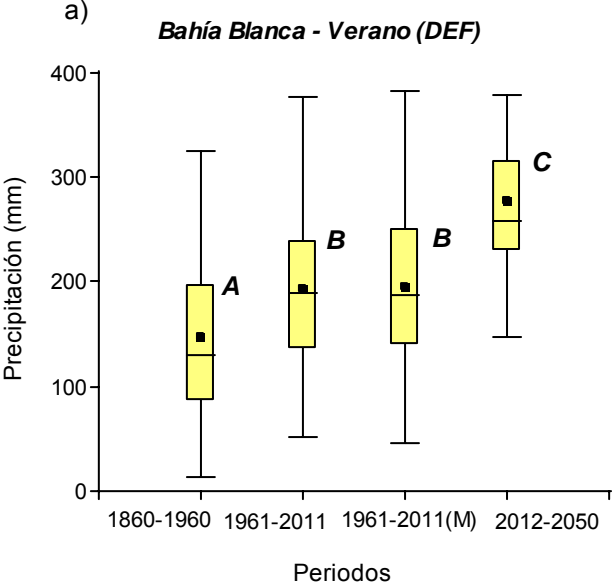
La FDP 2012-2050 permitió determinar que existiría una probabilidad de alcanzar niveles de precipitación menores a los 450 mm y mayores a los 750 mm del 3,56% y 45,3%, respectivamente.

Este hecho estaría sugiriendo que en función de los supuestos por el escenario climático A2, el efecto de cambio climático sobre la distribución de las precipitaciones, en línea con lo ya observado en el estudio previo en la zona de estudio, podría incrementarse aún más hasta la próxima mitad de siglo, derivando en un aumento de la mediana de la precipitación acumulada anual (+20,9%) y en una disminución del riesgo de ocurrencia de precipitaciones anuales menores a los 450 mm y un aumento de la mayores a los 750 mm

La FDP estacionales estimada por el ensamble para 2012-2050 (Fig. 23) presentaron diferencias en las medianas (K-W) respecto a los periodos históricos anteriores para las estaciones de verano ($p < 0,0001$), otoño ($p < 0,0001$) y primavera ($p < 0,0015$). La precipitación predicha (2012-2050) en el verano mostró un incremento del 98,3% (128 mm), 36,3% (69 mm) y 37,7 (71 mm) respecto a las acontecidas en los periodos 1860-1960 y 1961-2011 y la estimada por el mismo ensamble para el periodo histórico (1961-2011), respectivamente. En el otoño se observaron aumentos de un 74,4% (102 mm), un 43,9% (73 mm) y un 59, % (89 mm) para los mismos periodos, respectivamente. En la primavera no se encontraron

diferencias significativas con el periodo histórico de 1860-1960 pero si con el periodo inmediato anterior 1961-2011 , que mostraron una reducción del 11,2 % (12 mm).

En la estación invernal no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,175$) entre ningún periodo evaluado.



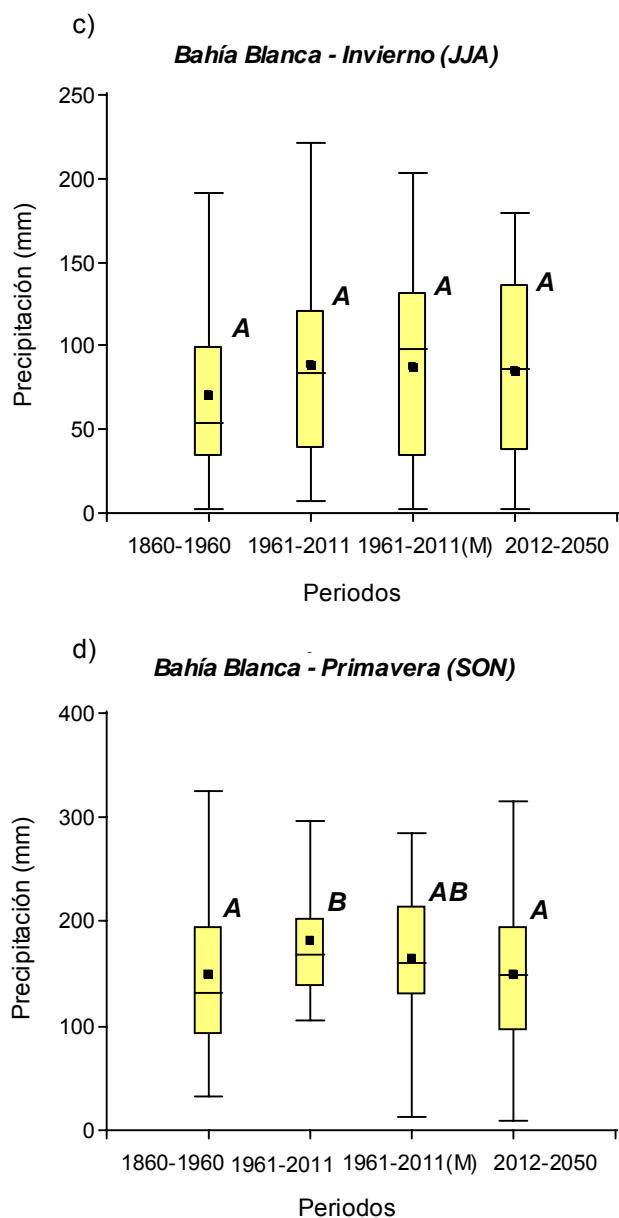


Figura 23. Gráfico de cajas comparando la distribución de la precipitación estacional de Bahía Blanca. a) Verano (DEF), b) Otoño (MAM), c) Invierno (JJA), d) Primavera (SON). 1860-1960= Periodo histórico real 1861-1960 (n=101), 1961-2011= Periodo histórico real 1961-2011(n=51), 1961-2011(M)= Periodo 1961-2011 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=51), 2012-2050= Periodo 2012-2050 modelado por el ensamble de modelos de circulación de la atmósfera (n=39). Letras distintas indican diferencias significativas por test por test K-W ($p < 0,05$).

Estos resultados estarían señalando que, los aumentos estimados en la precipitación acumulada anual del periodo 2012-2050 respecto al anterior 1961-2011, se debería principalmente a incrementos de las precipitaciones de verano y otoño (80,2%) más que proporcionales a la reducción que cabría esperar durante el periodo primaveral (11,2%).

Discusión:

Los estudios de escenarios climáticos futuros han incrementado substancialmente sus aportes en los ámbitos académicos de todo el mundo en los últimos treinta años (Katayama *et al.*, 2006; Christensen *et al.*, 2007; Meehl *et al.*, 2007; Nuñez, 2009). Kattenberg *et al.* (1996) señala que la influencia de la actividad antrópica observada en los fenómenos de cambio climático en el mundo, se incrementará en el futuro con el crecimiento demográfico.

La intención de detectar patrones de repetición de períodos húmedos y secos a través del modelado numérico, ha permitido en términos estocásticos, aproximaciones con un alto grado de precisión en numerosas regiones (Hulme *et al.* 2002; Kjellström & Bärring, 2006). Menéndez *et al.*, (2009) menciona que estas predicciones podrían ser mejoradas todavía por la inclusión en los modelos actuales de elementos de la física, como las variaciones en los ciclos solares, en el viento solar, las pequeñas perturbaciones en la velocidad angular terrestre, las parametrizaciones de la degradación del suelo o las modificaciones de sus condiciones, etc, dando lugar a una mejora en la caracterización de los extremos climáticos.

La metodología para la proyección y construcción de escenarios de predicción de cambio climático al nivel regional, ha dado notables avances, alcanzando en la actualidad un alto grado de correlación en las últimas décadas (Santer *et al.*, 1990; Christensen *et al.*, 2001; Mitchell *et al.*, 1999; Giorgi, 2008; Cabré *et al.*, 2012).

En la actualidad existen fuentes de incertidumbre futura, como la evolución de las emisiones de gases invernadero, que tratan de ser acotadas y/o minimizadas a través de la determinación de los escenarios de cambio climático y otras dependientes de los modelos de tipo respuesta climática. En trabajos recientes de Räisänen (2007) y Giorgi (2008) se verifica que los métodos de ensamble de multimodelos como el utilizado en esta tesis, permiten disminuir estas últimas fuentes de incertidumbre relacionadas a la respuesta climática.

Los resultados hallados en esta investigación concuerdan con otros estudios a nivel regional e internacional.

Cabré (2011) evaluó la capacidad del modelo MM5, anidado al MCG HadAM3H (Hadley Centre), de representar el clima actual para el periodo 1970-1989 para el sur de Sudamérica. El MCR MM5 presenta una muy alta relación con WRF utilizado en este trabajo de tesis, pudiendo ser considerado su antecesor debido a que comparten casi la totalidad de las construcciones matemáticas de simulación del clima regional. De esta manera, identificó aspectos críticos de las parametrizaciones utilizadas en la simulación climática en este continente, de manera de poder interpretar las proyecciones del futuro lejano con un mayor nivel de certeza. Esta autora menciona que la distribución estacional de la precipitación fue bien representada por el modelo, capturando los máximos en latitudes subtropicales y los mínimos en la región Patagónica. Sin embargo, los máximos de precipitación en el semestre cálido (estación húmeda), en la región tropical no fueron bien representados, siendo subestimados en 2 a 4 mm día⁻¹, respecto a los 8 a 10 mm día⁻¹ observados por los datos de la base CRU (Climate Research Unit, Base de registros climáticos de datos elaborados en forma de retícula mundial, por la Universidad de East Anglia, Inglaterra).

La subestimación de la precipitación en zonas tropicales utilizando el esquema convectivo de Grell, ha sido reportado por otros estudios con el modelo MM5 (Solman *et al.*, 2011b), como con RegCM3 (Fernández, 2006; Reboita *et al.*, 2010; Marengo *et al.*, 2010) y con otros MCG (Vera *et al.*, 2006; Kitoh *et al.*, 2011). No obstante Cabré (2011) y Solman *et al.* (2011a) encontraron que la parametrización convectiva de Grell *et al.* (1993 a y b), en combinación con el esquema de capa límite planetaria MRF (Hong *et al.* 1996), mejoraban la representación de la precipitación en el centro de Argentina.

Asimismo se observó una sobreestimación en zonas montañosas (Andes), consistentemente, con lo reportado por Fernández (2006), Rojas *et al.* (2006), Marengo *et al.* (2009) y en otras partes del mundo como los Alpes (Grell, 2000).

En el semestre frío (estación seca) la distribución estacional modelada fue muy similar a la observada por CRU. A excepción en el noreste de Argentina y sudeste de Brasil donde se observó una ligera subestimación predicha de 1 a 2 mm día⁻¹ respecto a 4 a 6 mm día⁻¹ de la observación CRU (Solman *et al.*, 2007; Reboita *et al.*, 2010; Cabré, 2011). Asimismo, en la región al sur de 40°S en la región Patagónica se presentó una ligera sobreestimación de la precipitación, que estaría explicada por una mayor intensidad de los vientos modelados del oeste en dicha subregión (Solman *et al.*, 2007).

En relación a la región de estudio de esta tesis; los resultados del trabajo de Cabré (2011) exponen que las principales características de la precipitación estarían muy bien representadas por las parametrizaciones climáticas de MM5 (ídem a las de WRF). Sin embargo, existirían algunas deficiencias leves en la simulación de algunos patrones climáticos externos a la región de estudio, pero que podrían influir ligeramente en la representación del clima en la zona de estudio.

Entre ellas, cabe mencionar la subestimación mencionada de la precipitación en la región tropical de Sudamérica y fallas de ubicación e intensidad en la modelación de la circulación ciclónica y la estructura de corriente de chorro de capas bajas tropicales, durante el verano. Estos corrimientos subestimarían el aporte de humedad hacia la zona subtropical de Argentina, que bajo ciertas condiciones y en una marcada menor intensidad extienden su aporte húmedo hasta el sur de la región pampeana, hasta la zona de transición o diagonal semiárida Argentina. Lenters & Cook (1995) mencionan que la precipitación estival en latitudes subtropicales estaría fuertemente determinada por la convergencia en capas bajas y la advección de humedad proveniente de los trópicos. Por lo tanto, las diferencias en la localización modelada del anticiclón del Atlántico Sur respecto a la observada, podrían afectar la convergencia de flujos de humedad y consecuentemente subestimar en algunos momentos del verano la precipitación simulada en la región pampeana. Rojas y Seth (2003) también reportan que este encadenamiento de factores, subestimaría la precipitación estival en algunos años en la Cuenca del Plata. No obstante, Scian (1999) en un estudio específico de toda la llanura pampeana encontró que en el Sudoeste Bonaerense, el efecto del aporte de dicho flujo de humedad es marcadamente menor al presente en la Cuenca del Plata debido a su mayor lejanía. Por lo que su influencia sobre la precipitación simulada en la región de estudio, también sería menor.

En segunda instancia, otro factor extra territorial de marcada relevancia que influenciaría la variabilidad de la precipitación monzónica en Sudamérica (Ropelewski *et al.*, 1986 y 1987; Noagués *et al.*, 2002; Grimm 2003; Vera *et al.*,

2006) y en la región de estudio (Scian *et al.*, 1997; Scian 2001 y Scian *et al.*, 2002) son las anomalías de temperatura de la superficie del mar. Dentro de los eventos océano-atmosféricos de mayor estudio bajo condiciones de CCG se encuentra la oscilación de presión del Sur El Niño/La Niña, por ser el fenómeno climático interanual más importante con consecuencias en el clima global (Philander *et al.*, 1990; McPhaden *et al.*, 1998; Burgers *et al.*, 2005). Su influencia en el clima actual del Sur de Sudamérica esta ampliamente documentada (Moura *et al.*, 1981; Aceituno 1988; Pisciottano *et al.*, 1994; Robertson *et al.*, 1998; Grimm *et al.*, 2000; Doyle & Barros, 2002).

Si bien se hipotetiza que el CCG influiría sobre las anomalías del calentamiento de los océanos, responsables del fenómeno ENSO, todavía no existen estudios ampliamente consensuados en los modos de acción (Weisberg *et al.*, 1998; Meinen *et al.*, 2000).

Latif & Keenlyside , (2009) en una reciente y profunda revisión de los estudios de los efectos del CCG sobre ENSO, reportan que respecto al siglo pasado, se observan variaciones en el sistema climático tropical del Pacífico con un ligero aumento de la variabilidad interanual y una mayor frecuencia de eventos Niño a partir de la década de 1970 (Neelin *et al.*, 1994; Timmermann *et al.*, 1999; Dong *et al.*, 2006; Vecchi *et al.*, 2008). Esta mayor ocurrencia de Niños estaría relacionada al cambio en el patrón de las precipitaciones en varias regiones de Sudamérica, donde en la región pampeana se correlaciona con mayores anomalías húmedas de la precipitación (Moura *et al.*, 1981; Aceituno 1988; Labraga *et al.*, 2002; Pisciottano *et al.*, 1994; Scian, 1997; Doyle y Barros 2002; Grimm *et al.*, 2003; Robertson *et al.*, 2003).

No obstante, ninguno de estos cambios observados presenta suficiente evidencia para determinar un punto de inflexión del comportamiento ENSO para las próximas décadas. En este sentido, Guilyardi *et al.* (2008), señalan la dificultad actual para la simulación del clima tropical del Pacífico, debido a las complejas y fuertes interacciones cíclicas no lineales océano-atmosféricas. Estos autores mencionan que las actuales dificultades de consenso respecto a las predicciones de este fenómeno, se deberían a la comprensión incompleta actual de los procesos físicos involucrados en ENSO, como el efecto de la variación de la radiación solar incidente que aún no se encuentra incluida en estos modelos.

Por otro lado, Compo *et al.* (2006 y 2008) encontraron, mediante modelos de simulación, evidencia de que el calentamiento de los continentes ha ocurrido principalmente como respuesta al calentamiento global inicial de los océanos, por sobre un efecto directo de los gases efecto invernadero. Este hecho estaría sugiriendo que los efectos de estos últimos, sobre el incremento de la temperatura de la masa continental, serían a través de procesos indirectos, a través del calentamiento de las aguas oceánicas, que deberán ser estudiados en mayor detalle para su incorporación en los modelos climáticos de predicción.

Este hecho, no significa que el CCG no producirá cambios fuertes sobre ENSO, de hecho la ocurrencia de estos ha incrementado su frecuencia de ocurrencia en las últimas décadas y las simulaciones actuales pueden mostrar cambios fuertes en su comportamiento futuro, pero todavía con una alta dispersión de resultados (Latif *et al.*, 1997 y 2009). La falta de una clara evidencia de un punto de inflexión en el sistema físico de ENSO, no se opone a la existencia de puntos de inflexión en los demás componentes del sistema climático terrestre, inducido por

cambios en la temperatura oceánica y el clima tropical del Pacífico (Neelin *et al.*, 1997). Así también, como sobre otros factores globales como la reducción de la selva amazónica y su influencia sobre la precipitación fundamentalmente en Sudamérica (Cox *et al.*, 2004).

En 1997 Magrin, indicaba que a partir de los modelos atmosféricos de estimación regional en la variación de la precipitación mensual se observaba, como respuesta a la duplicación de CO₂, una variación de lluvias negativa y mayor en las estaciones de otoño y verano en Argentina.

El trabajo reciente de Cabré (2011) presenta importantes elementos para la evaluación de la certidumbre de los modelos climáticos actuales sobre la influencia de dicho fenómeno en Sudamérica y sobretodo de las parametrizaciones mencionadas a escala regional. Esta autora, construyó índices de la diferencia de las precipitaciones de eventos Niños y Niñas en las observaciones de la base CRU y de las predicciones del modelo regional MM5 para diferentes regiones de Sudamérica. La metodología de evaluación coincide con la empleada por Giorgi *et al.* (2004) en Europa a partir del modelo RegCM en el periodo (1961-1990), por Plummer *et al.* (2006) en Canadá con el modelo canadiense (CRCM) para el periodo (1971-1990) y PaiMazumder *et al.* (2013) por el mismo modelo y región para comparaciones entre (1971–2000) y (2041–2070). Cabré (2011) encontró que las parametrizaciones utilizadas en MM5 presentaban una alta capacidad para capturar las señales de ENSO en la cuenca del Plata. En el Sur de la provincia de Buenos Aires se presentaron las menores diferencias entre los coeficientes de variación estacionales de la precipitación modelada y observada. No así en otras regiones de Sudamérica como los Andes subtropicales. Estos resultados aumentan el nivel de certidumbre para las parametrizaciones utilizadas en el ensamble de esta tesis, de una adecuada representación de la influencia del evento ENSO en la precipitación en la zona de estudio. Estos resultados fueron consistentes con los de Blázquez *et al.* (2012) en evaluaciones semejantes para el Sur de Sudamérica a través de la utilización del modelo japonés JMA/MRI de 20 km de resolución para el periodo (1979-2003).

Asimismo, la capacidad de las parametrizaciones de MM5 y por lo tanto de WRF, para predecir la variabilidad interanual de la precipitación fue adecuada para la zona de estudio y el sur de la provincia de Buenos Aires. No obstante, para el norte de Argentina dicha variabilidad fue sobreestimada para la estación de verano y subestimada para estación invernal, en el este del país.

Esto resultados concuerdan también con los de Räisänen (2002) en un estudio muy profundo con 19 MCG del proyecto de Intercomparación de Modelos acoplados Atmósfera –Océano, con los de Misra (2002) y Vera *et al.* (2009).

En función de la revisión de la literatura científica más reciente, se destaca que las parametrizaciones de las variables del clima utilizadas en el ensamble de esta tesis, coincidentemente con las evaluaciones previas de los autores citados, demuestran una alta capacidad de representar adecuadamente la distribución estacional de la precipitación media en la región de estudio.

Los resultados hallados en esta tesis exponen evidencias de que el efecto del CCG introducido sobre la distribución de la precipitación en la región de estudio a partir de finales de la década de 1960, podrían incrementarse aún más y experimentar nuevos cambios en el comportamiento de las lluvias, en el periodo 2012-2050, para el escenario climático A2.

Los resultados hallados para la región de estudio, responde a una alta resolución espacial (25kmx25km de cuadrícula). La metodología empleada es semejante a la expuesta en revisiones de la literatura científica actual, obtenidos por otros autores en otras regiones del mundo a partir de la necesidad de analizar cuantitativamente los efectos de CCG para su posterior evaluación en impactos económicos, productivos y sociales: en América del Norte (Laprise *et al.*, 1998; Pan *et al.*, 2001; Liang *et al.*, 2004), en Europa (Machenauer *et al.*, 1998; Christensen *et al.*, 2001, 2003 y 2007; Giorgi *et al.*, 2004), en Asia (Kato *et al.*, 1999; Rupa Kumar *et al.*, 2006; Islam *et al.*, 2007 y 2009), en África (Joubert *et al.*, 2009; Arnell *et al.*, 2003; Tardoss *et al.*, 2005) en Australia (Whetton *et al.*, 2001) y en Sudamérica (Marengo *et al.*, 2006 y 2009; Garreau *et al.*, 2008; Urrutia & Viulle, 2009). Mientras para Argentina las investigaciones son menos abundantes, pero de muy alta profundidad, destacándose los trabajos de: Solman *et al.* (2007), Nuñez *et al.* (2008), Cabré (2011), Labraga *et al.* (2010) y Cabré *et al.* (2012).

Los resultados de las predicciones futuras de esta tesis fueron consistentes con la mayoría de dichos trabajos para Sudamérica.

Respecto a la precipitación estival, Cabré (2011) verificó un aumento para el futuro lejano (2080-2099), en el centro de la República Argentina, incluida la provincia de La Pampa, muy cercana a la región de estudio. Estos resultados también se asemejaron a los reportados por Cabré *et al.* (2012) para dicha ubicación, en el futuro cercano (2020-2050), tanto para el escenario A2 como B2. No obstante, se observó una reducción en la precipitación en el sudeste de Chile y el altiplano sudamericano.

Los resultados hallados coinciden también con los de Nuñez *et al.* (2008). Estos autores aducen el incremento de la precipitación futura estival (DEF), a un mayor transporte de humedad al centro del país, por un aumento de la circulación ciclónica (Baja del Chaco) junto con el corrimiento hacia latitudes polares del anticiclón subtropical del Atlántico.

Krüger *et al.* (2012) expone resultados similares en un estudio de los escenarios A2 y B2 a través del MCR RegCM3 forzado con el MCG HadAM3. El aumento de la precipitación predicho para el centro de Argentina en verano es de 3 mm día⁻¹ superior al de Cabré (2011) de 1mm día⁻¹.

Marengo *et al.* (2009) informan resultados de tendencias semejantes para el Norte de Argentina, a través de la utilización de los mismos modelos (RegCM3 forzado con HadAM3).

Seth (2010) a través de un estudio con nueve MCG utilizados en la primer etapa del proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados, determinaron que las condiciones más húmedas en Sudamérica por efecto del CCG, se localizarían en el Sureste. Estas proyecciones coincidieron con las del IPCC AR4 y las previas elaboradas por Christensen *et al.* (2007).

Meehl *et al.* (2005) encontró que los efectos advectivos a partir de los cambios en los niveles de presión de los océanos aumentaría la intensidad de las precipitaciones máximas y medias en varias regiones del mundo, entre ellas el centro-sur de Sudamérica

En otoño, Cabré (2011) encontró que la precipitación media se incrementaría siguiendo la tendencia de la estación estival, pero con una menor intensidad, para el centro de Argentina, con mayor intensidad en la provincia de San Luís.

En invierno encontramos resultados contrapuestos para las regiones hacia el norte y hacia el sur de la región de estudio. Por un lado, Nuñez *et al.* (2008) y Cabré *et al.* (2010) identificaron que las proyecciones de CCG bajo escenario A2, sobre la precipitación en Patagonia Norte, tendería a una leve disminución relacionada a un desplazamiento hacia mayores latitudes del centro de Alta presión Subtropical del Pacífico Sur. Mientras para la región centro de Argentina (Nuñez *et al.*, 2008; Marengo *et al.*, 2009; Krüger *et al.*, 2012) visualizaron leves aumentos de la precipitación en el trimestre JJA. Cabré *et al.* (2012) verificaron también a la disminución de la precipitación de invierno como una de las fluctuaciones principales para el centro-sur de Argentina en el futuro cercano (2020-2050), tanto para escenario A2 como B2.

En este sentido en nuestro trabajo, en una región intermedia a las mencionadas, no detectamos diferencias significativas ($p < 0,0001$) entre la mediana de la precipitación invernal tanto en el clima actual como el proyectado en el futuro cercano.

Finalmente en la primavera, Cabré (2011) reporta que se observa una tendencia generalizada en Sudamérica, si bien con diferente magnitud, a la disminución de la precipitación, incrementando su intensidad hacia finales de siglo XXI. Estos resultados concuerdan con varios estudios previos (Nuñez *et al.*, 2008; Marengo *et al.*, 2009; Krüger *et al.*, 2012) así como con las tendencias observadas en los últimos 40 años informadas por Ciappesoni *et al.* (2005) para el oeste de Sudamérica.

Los resultados hallados en este sentido en esta tesis, fueron también consistentes con las proyecciones publicadas por Kitoh *et al.*, (2011), de las variaciones en la distribución espacial de las medias de las precipitaciones en Sudamérica frente al CCG, para finales de siglo, a partir del modelo global de alta resolución MRI.

Estos cambios en la precipitación, se sustentarían en los aumentos de la temperatura media visualizados para Sudamérica. Cabré *et al.* (2012) verificaron que los aumentos de temperatura serían mayores en los trópicos respecto a las latitudes altas, más importantes en invierno que en verano y mayores en el escenario A2 frente a B2. Respecto a A2 encontraron que hacia el 2050, en invierno en la región subtropical se observaría un patrón de incremento de la temperatura de 2°C a 3°C mientras en las latitudes altas se aproximaría a 1,5°C. En A2 estos incrementos de la temperatura se estabilizarían hacia finales de siglo. En estas predicciones la bondad de ajuste del ensamble utilizado con las parametrizaciones regionales de MM5, fueron testeada por el cálculo de correlaciones entre las simulaciones del clima presente y las observaciones del Climate Research Unit dataset (New *et al.* 1999 y 2000), y la evaluación de su nivel de significancia por pruebas t de Student. Dichos autores encontraron que todos los coeficientes evaluados espacialmente presentaron un nivel de confianza del 95% y fueron significativos a la prueba t.

Los cambios identificados en la variabilidad de la precipitación por el ensamble de modelos en la región de estudio fueron consistentes con la literatura mencionada. Los mayores cambios se observarían en el verano, donde el intervalo de confianza del 95% para 2012-2050 se contrajo a [148; 492] mm respecto al acontecido de 1961-2011 que va entre [52; 407]mm. En la primavera observamos una situación inversa, donde el intervalo de confianza (95%) para 1961-2011 pasó de [129; 449] a [9; 313] mm en el periodo 2012-2050

Asimismo se observa una variación en los niveles de riesgo de la precipitación de estas dos estaciones. En el verano se observa que con un 95% de confianza, el primer cuartil de la FDP de la precipitación para 2012-2050 se ubica en el intervalo de [148; 233] mm, mientras para la FDP de 1961-2011 dicho intervalo se encuentra entre [52;155] mm. En la primavera el comportamiento fue opuesto, donde el intervalo de confianza del 95% para el primer cuartil para la FDP 2012-2050 se halla en [9; 129] mm, mientras para la FDP de 1961-2011 en [105; 156] mm. Estos resultados estarían indicando una mayor seguridad de mayores niveles mínimos de lluvias en verano para el periodo 2012-2050 respecto al pasado 1961-2011 y viceversa para la estación de primavera.

Estas señales visualizadas de cambio en la distribución estacional de la precipitación para el futuro cercano permiten inferir un alto impacto en los sistemas de producción de la región de estudio. Sobretudo, alertan respecto a las modificaciones predichas para la distribución de la precipitación primaveral en 2012-2050, que podría volver a asemejarse a la observada entre 1860-1960, con una mediana menor y una mayor variabilidad (Fig. 23). Este hecho es importante, ya que de cumplimentarse las previsiones observada, estas irían en detrimento del avance experimentado en (1961-2011) en la región de estudio por los cultivos de cosecha fina y forrajes de crecimiento principalmente primaveral, con serias consecuencias económicas y productivas en un gran número de explotaciones de la región.

La información generada a partir de la utilización de modelos de predicción climática futura y su tratamiento estocástico, permite un análisis anticipado de los posibles impactos sobre los sistemas de producción en distintas regiones. Asimismo, habilita la elaboración anticipada de planes de contingencia, adecuación tecnológica o mitigación de esos posibles cambios como el esperado en la distribución de la precipitación.

Los modelos climáticos regionales verifican en la actualidad una adecuada capacidad para reproducir características generales del clima como la variabilidad estacional, anual, y la distribución espacial de las variables climáticas. Esto implica que se presentan como una herramienta de alta utilidad en la generación de escenarios regionales de cambio climático de alta resolución, para los fines mencionados (Cabré *et al.*, 2012).

Zhu *et al.* (2002) señalan que la importancia de los adelantos en la confiabilidad de los MCG, se encuentra directamente relacionada a sus implicancias económicas y sociales, ya que permite tomar protección de fenómenos climáticos que pueden ser determinados teóricamente en cuanto a intensidad y probabilidad, antes de que ocurran en la realidad.

3.3. Resultados obtenidos para validar la Hipótesis 3

Hipótesis 3a: *La distribución de probabilidad histórica de la precipitación estudiada a partir de la Hipótesis 2a, determinaría un elevado nivel de riesgo productivo de las empresas de bajo nivel tecnológico como son las modales. En su interacción con la volatilidad de precios de los productos e insumos utilizados, determinarían también un alto riesgo económico de las mismas. Ambos riesgos podrían disminuirse significativamente, mediante la adopción de sistemas más tecnificados, que integren tecnología adaptadas a regiones semiáridas.*

Hipótesis 3b: *Los cambios esperados en los patrones probabilísticos futuros de las lluvias estudiados en la Hipótesis 2b, derivarían en un incremento de los riesgos de producción y*

económicos de las empresas agropecuarias que continúen con las tecnologías de producción modales, respecto a las que adopten un mayor nivel de tecnificación.

Objetivo específico 3a: Desarrollar un modelo de simulación bioeconómico para analizar el comportamiento productivo de los sistemas ganaderos del área de estudio, en respuesta a la distribución de las precipitaciones específica de esta zona. A partir del modelo, determinar el riesgo productivo y económico actual del sistema modal de la región caracterizado por un bajo nivel tecnológico, respecto a uno propuesto para mejorar la sustentabilidad regional, de alta tecnología.

Objetivo específico 3b: En función del modelo desarrollado, analizar el impacto del cambio climático previsto en la Hipótesis 2b, sobre el riesgo productivo y económico de los dos sistemas tecnológicos bajo estudio.

3.3.1. Relación de la precipitación estacional con la PPN de los recursos forrajeros en el territorio de estudio.

Como era lógico esperar la PPN de todos los recursos forrajeros evaluados expresó una respuesta positiva al incremento de la precipitación. La Figura 24 muestra que la PPN de sorgo forrajero, para el rango observado, se relacionó linealmente con la precipitación DEF ($p < 0,05$), mientras que una ecuación polinomial de segundo orden fue la que mejor ajustó para el pasto llorón ($p < 0,05$). En las relaciones entre precipitación y PPN de distintos recursos forrajeros en la literatura, predominan los ajustes lineales. Las relaciones no lineales tienen diferentes tasas de cambio y cuando presentan una dinámica de saturación frente a la variable predictiva es posible identificar un valor en el dominio de la función a partir de la cual la variable dependiente tiende a permanecer prácticamente sin cambios. Esto hace posible la identificación de valores críticos en relaciones empíricas entre las propiedades de la función (Goldstein *et al.*, 1980).

El valor medio de PPN de pasto llorón DEF durante el periodo analizado (2005-2011) (1392 ± 593 Kg MS ha^{-1}) fue alcanzado con una precipitación DEF de 178 mm. El valor medio de la precipitación DEF histórica (1970-2011) es de 199 ± 82 mm. Un valor de PPN de 822 Kg MS ha^{-1} fue alcanzado a partir de lluvias superiores a los 119 mm en la estación. Por encima de este valor de precipitación, la PPN se incrementó marcadamente, mientras que a contenidos inferiores de lluvias, la PPN disminuyó a tasas menores a las de la precipitación, alcanzando un valor crítico en 113 mm. En este valor, la primera derivada de la función ($\Delta PPN / \Delta \text{precipitación}$) comienza a ser menor a 0,01. Esto significa que en el rango estudiado de pluviometría, aunque la pendiente de la relación se reduzca al disminuir la precipitación, la PPN de llorón tiende a permanecer constante y pareciera no alcanzar un nivel cercano a "0" en los años normales y de bajas precipitaciones de la región. Teniendo en cuenta que la precipitación DEF mínima histórica entre 1970 a 2011 fue de 82 mm en el año 1982, solo 29 mm por debajo de la lluvia mínima durante el periodo de ensayo (111 mm en DEF 2009), no se esperarían una caída marcada de la PPN entre la mínima de la evaluación, 111 mm y los 82 mm históricos mínimos en DEF.

Varios autores mencionan que la mayor parte de la PPN de esta especie se observa en primavera-verano (Gargano & Adúriz 1984; Veneciano & Terenti, 1997). Gargano *et al.* (2001a) cuantificaron una concentración media del 84% de la PPN en estas estaciones entre 1995 y 1999 en Bahía Blanca. Las ecuaciones polinomiales de segundo grado hallados en este trabajo para ambas estaciones, permiten

corroborar la mayor respuesta de la PPN de Ilorón a la precipitación en estas dos estaciones del año.

El modelo logístico fue el que mejor explicó la relación entre la precipitación DEF y la PPN del Agropiro ($p < 0,05$) y los sitios con campo natural de *Stipa tenuissima* ($p < 0,05$). Exhibiendo, respectivamente para el Agropiro y la *Stipa*, un valor máximo de PPN de 1195 y 206 Kg MS ha⁻¹ para una precipitación de 244 mm. Ambos modelos no alcanzaron un valor crítico en el rango de valores utilizados. No obstante, la tasa de cambio de la primera derivada de cada función en la lluvia máxima estudiada alcanzó un valor menor para la PPN de *S. tenuissima* (3,30), respecto a la alcanzada por el Agropiro (5,58). Esto estaría indicando que el Agropiro ante la misma dotación de lluvias manifiesta una mayor capacidad de producción de forraje en DEF.

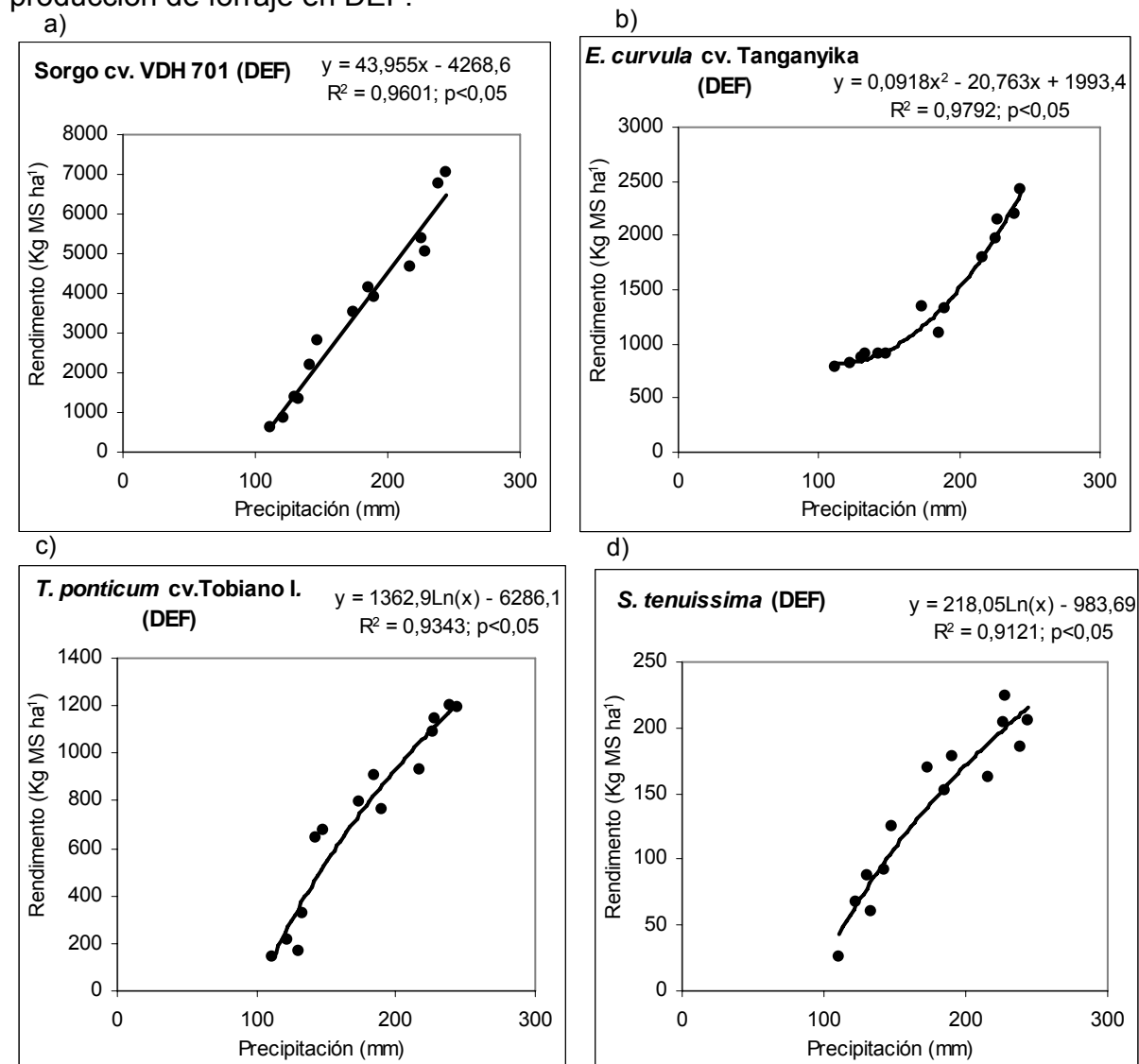
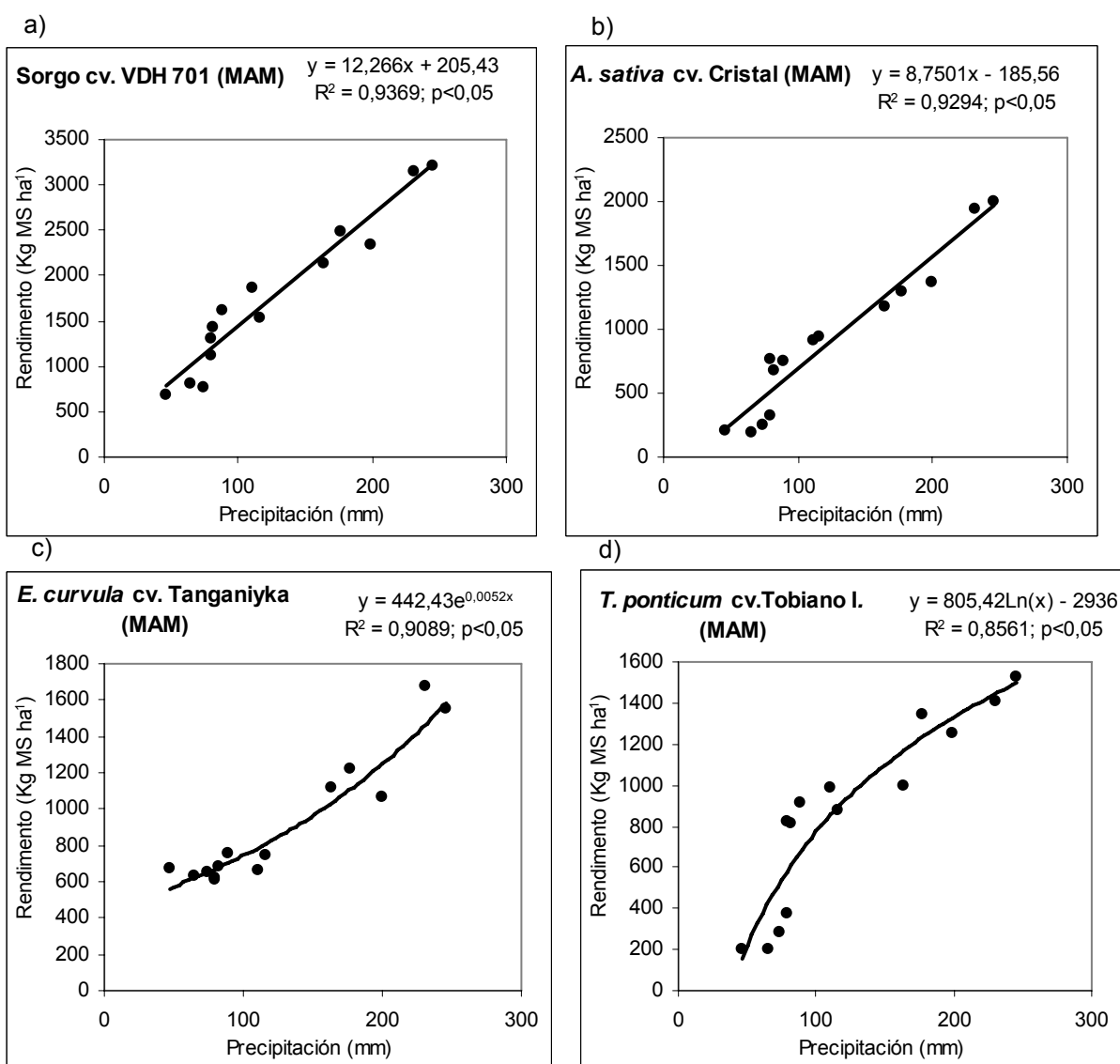


Figura 24. Relaciones entre la precipitación estival (DEF) y la producción primaria neta (PPN) de a) Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701, b) *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees cv. Tanganyika, c) *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA d) *Stipa tenuissima*. Los puntos indican valores medios ($n=3$). La línea negra es la función de ajuste $y(x)$. R^2 es el coeficiente de determinación.

En la estación otoñal la PPN para ambos verdeos anuales (sorgo forrajero y avena cristal) presentó un comportamiento lineal ($p < 0,05$). La PPN de pasto llorón se relacionó exponencialmente ($p < 0,05$) y hasta el límite mínimo de precipitación evaluado no alcanzó su valor crítico, manifestando una tasa de cambio ($\Delta PPN / \Delta$ precipitación) de $2,93 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Dos modelos logarítmicos ajustaron mejor a la PPN de Agropiro y de *Stipa* ($p < 0,05$) (ver Fig. 25 d) y e)). Para los 243 mm de precipitación otoñal (MAM) la PPN de *Stipa* fue de $464 \text{ Kg MS ha}^{-1}$ y por encima de este valor, la tasa de aumento de PPN comenzó a ser menor a los aumentos unitarios de lluvia. Mientras que a ese nivel de precipitación MAM, la PPN del Agropiro fue de $1523 \text{ Kg MS ha}^{-1}$ y la tasa de cambio por cada aumento en una unidad de precipitación era todavía superior a las 3,27 unidades de PPN.



d)

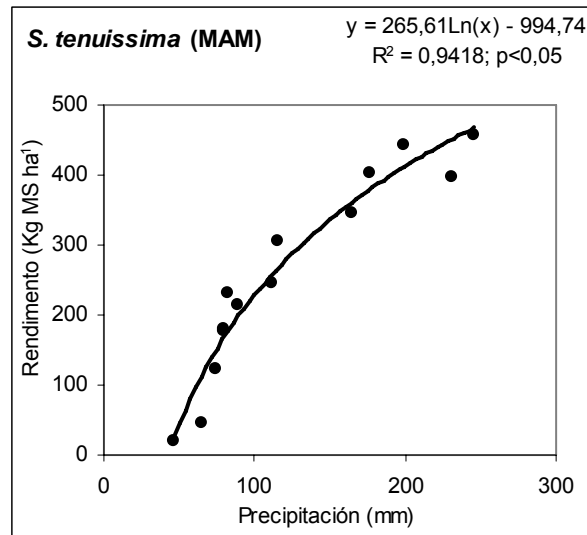
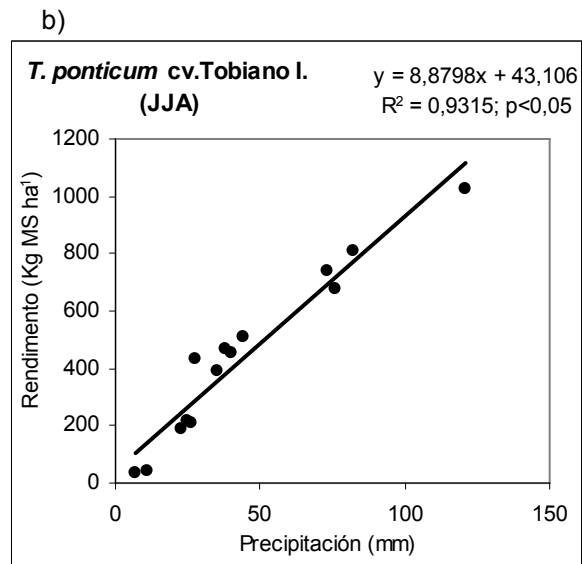
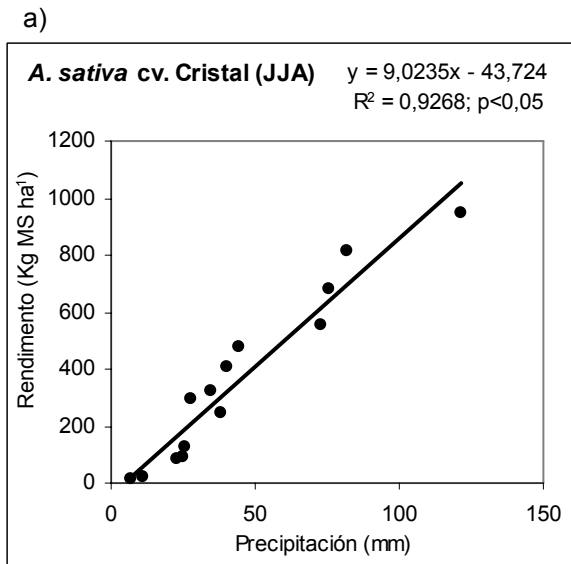


Figura 25. Relaciones entre la precipitación otoñal (MAM) y la producción primaria neta (PPN) de a) Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701, b) *Avena sativa* cv. Cristal, c) *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees cv. Tanganyika, d) *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA, e) *Stipa tenuissima*. Los puntos indican valores medios (n=3). La línea negra es la función de ajuste $y(x)$. R^2 es el coeficiente de determinación.

La relación hallada entre la precipitación JJA y la PPN de los recursos con crecimiento invernal, verdes de avena, Agropiro y *Stipa* fue lineal ($p < 0,05$), donde la avena cristal manifestó la mayor tasa de aumento de PPN por mm de lluvia (9,02).



c)

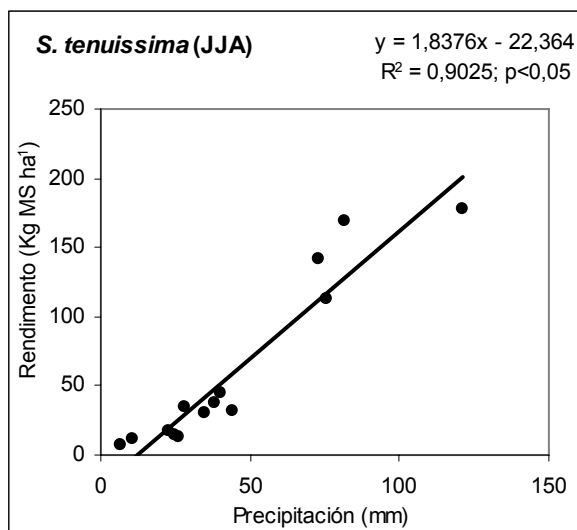
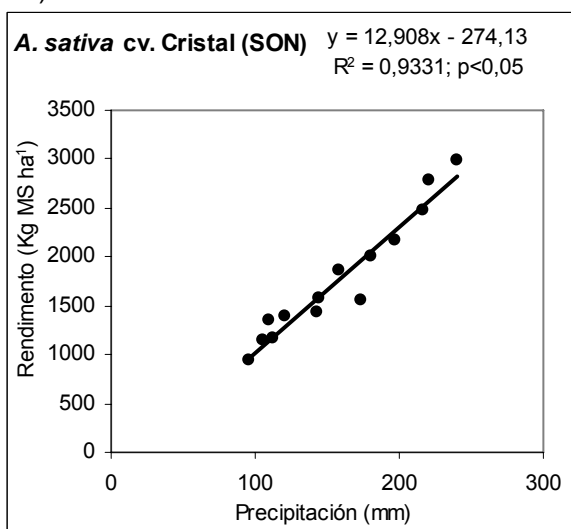
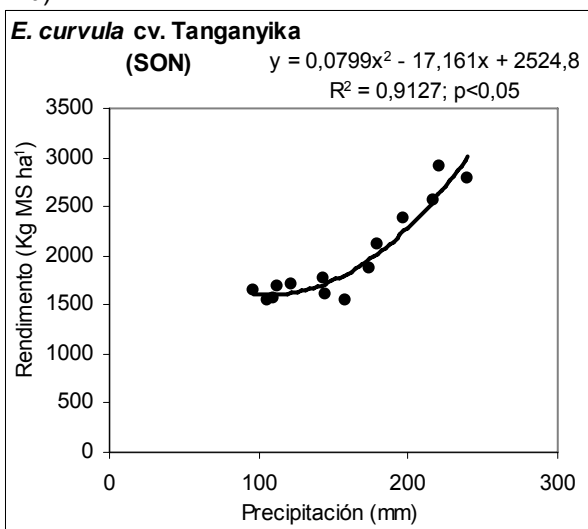


Figura 26. Relaciones entre la precipitación invernal (JJA) y la producción primaria neta (PPN) de a) *Avena sativa* cv Cristal, b) *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA, c) *Stipa tenuissima*. Los puntos indican valores medios (n=3). La línea negra es la función de ajuste y(x). R² es el coeficiente de determinación.

a)



b)



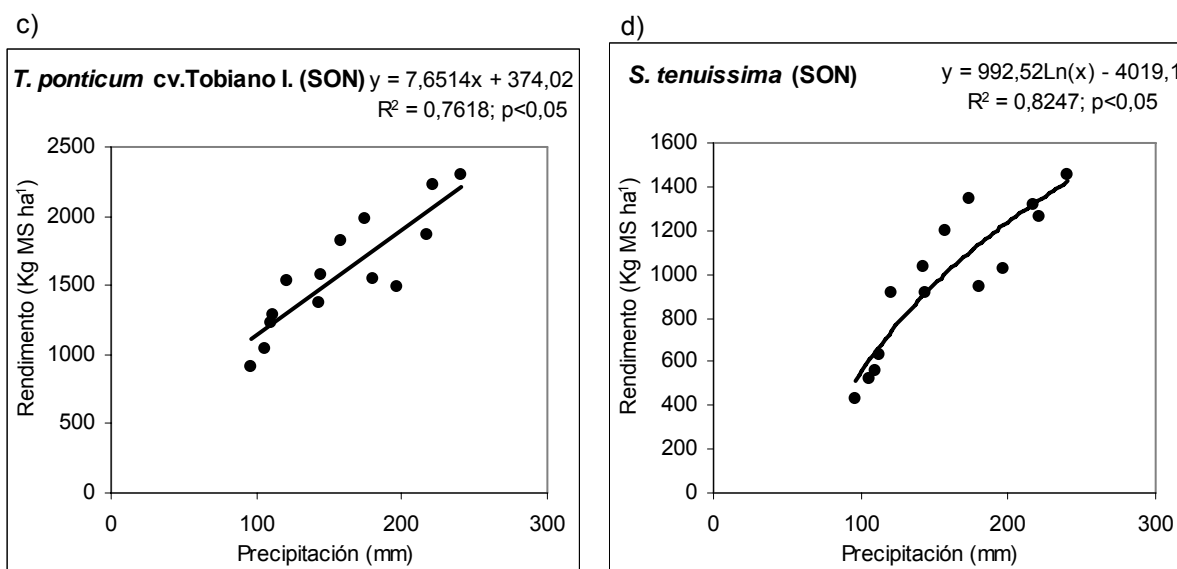


Figura 27. Relaciones entre la precipitación primaveral (SON) y la producción primaria neta (PPN) de a) *Avena sativa* cv Cristal, b) *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees cv. Tanganyika, c) *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA, d) *Stipa tenuissima*. Los puntos indican valores medios (n=3). La línea negra es la función de ajuste $y(x)$. R^2 es el coeficiente de determinación.

La PPN de avena cristal y agropiro respecto a la precipitación SON, se relacionaron a partir de un modelo lineal ($p < 0,05$). Una ecuación logística fue la que mejor ajustó a la PPN de *Stipa* la cual manifestó un valor máximo PPN de $1457 \text{ Kg MS ha}^{-1}$ con 240 mm , pero no alcanzó un valor crítico en el rango de valores de lluvia evaluados. La PPN del pasto llorón obtuvo su mejor ajuste a partir de un modelo polinómico de segundo grado. A partir de los 114 mm se alcanzó una PPN de $1606 \text{ Kg MS ha}^{-1}$ y por encima de este valor de precipitación, la PPN se incrementó marcadamente. A los 108 mm se observó el valor crítico, donde la PPN tendería a permanecer constante hasta el final del rango estudiado. La precipitación mínima histórica SON (1970-2011) fue de 96 mm en el año 2009, incluido dentro del periodo de evaluación.

En función de los resultados hallados se puede mencionar que el periodo de evaluación de los recursos forrajeros fue adecuado (7 años), para la construcción de ecuaciones empíricas de predicción en función de las lluvias características. No obstante, dado que se contó con dos sitios de evaluación y una sola especie y cultivar por tipo de recurso forrajero, sería interesante en futuras investigaciones, y a fin de mejorar las capacidades predictivas de MBBCR, incorporar nuevos sitios, especies y cultivares en ensayos dentro del área de estudio.

3.3.2. Validación del modelo Bio-Económico MBBCR.

En la Figura 28 y 29, se presenta la PCN ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) para los establecimientos representativos de los SM y los ST, correspondiente a los valores reales observados y los simulados por el modelo bioeconómico MBBCR, en función de la precipitación efectivamente acontecida en el periodo 2005-2011.

La PCN media de los SM reales evaluados en el periodo fue de $38,8 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ siendo su DST de $12,3 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Estos valores fueron muy semejantes a los determinados por MBBCR, con una media de $37,6$ y un DST de $12,4$. En los ST se observó un comportamiento similar donde la PCN media para los sistemas reales

en el periodo determinado, fue de $92,3 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con un DST de $18,4 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras en los valores simulados por el modelo se ubicaron en 91 y $18,7 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, respectivamente.

La bondad del ajuste del modelo fue moderadamente alta para los SM y muy alta para los ST, alcanzando respectivamente un coeficiente de determinación de $89,13$ y $96,86\%$. Las correlaciones que dieron origen a estos coeficientes de determinación fueron altamente significativas en ambos casos.

El menor ajuste de la simulación a los SM podría deberse a la mayor variabilidad en los niveles de PCN que incorpora la utilización de recursos forrajeros muy sensibles a la ocurrencia de periodos de bajas precipitaciones que afectan la estabilidad del sistema. Asimismo, los SM poseen una gran proporción de su superficie ganadera formada por campos naturales con una diversidad de especies amplia. El modelo MBBCR simplificó las estimaciones de PPN a la especie preponderante (*S. tenuissima*), aunque en la realidad no sería la única. Sin embargo, aún así el coeficiente alcanzado puede considerarse adecuado.

La recta de regresión calculada entre los datos observados y simulados tanto para los SM como ST no difirieron de la línea de bisectriz, ni en la ordenada de origen ($p > 0,1807$) y ($p > 0,1880$), ni en la pendiente ($p > 0,4795$) y ($p > 0,3805$), respectivamente. Estos resultados estarían indicando que el modelo presenta un buen equilibrio, evidenciando la inexistencia de sesgo. El valor de la raíz cuadrática media, RMS, fue respectivamente para los sistemas modales y tecnificados de $3,095$ y $3,689$, representando un $9,4\%$ y un $3,9\%$ respecto al promedio de los valores reales.

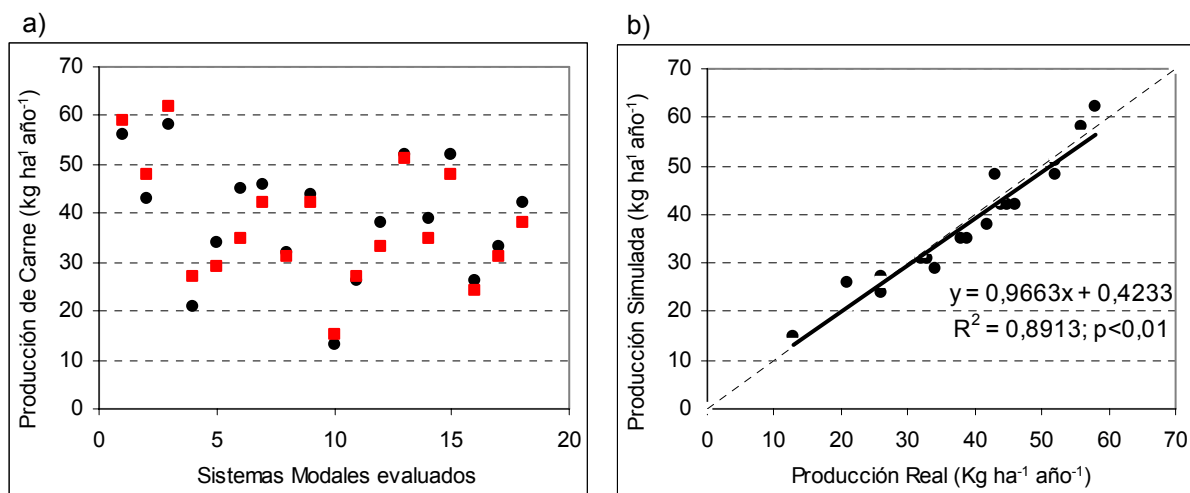


Figura 28. Producción de carne neta (PCN) anual de 3 sistemas ganaderos de Bahía Blanca y Cnel Rosales de nivel tecnológico modal, durante el periodo 2006-2011 (n=18). a) Niveles alcanzados y estimados. Rojo= Valores reales, Negro= Valores simulados, b) Análisis de regresión entre los valores simulados (Y) y los valores reales (X). La línea punteada indica la bisectriz (Y = X).

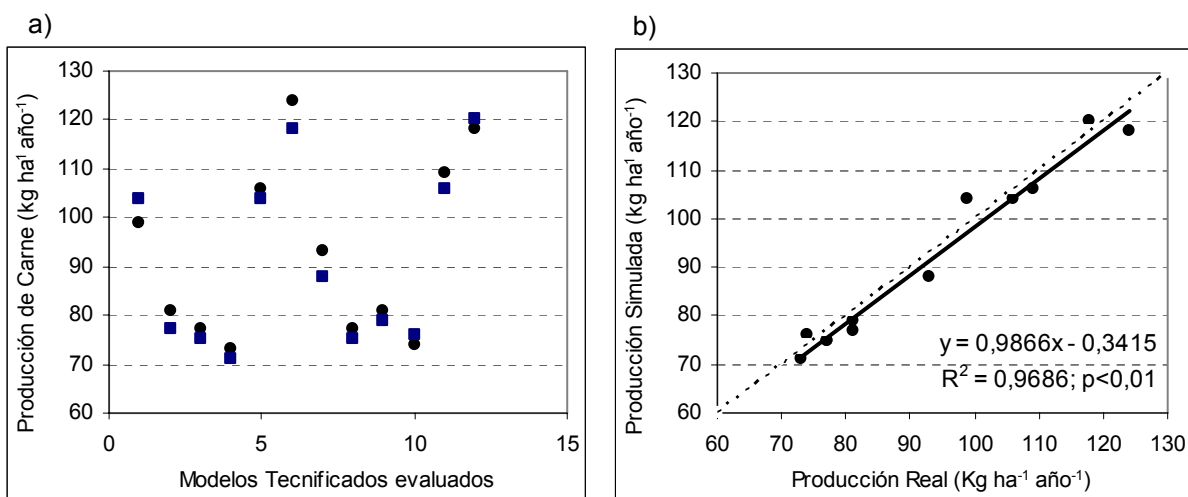


Figura 29. Producción de carne neta (PCN) anual de 2 sistemas ganaderos de Bahía Blanca y Cnel Rosales de alto nivel tecnológico semejante a ST, durante el periodo 2006-2011 (n=12). a) Niveles alcanzados y estimados. Azul= Valores reales, Negro= Valores simulados, b) Análisis de regresión entre los valores simulados (Y) y los valores reales (X). La línea punteada indica la bisectriz ($Y = X$).

De manera análoga, en la Figura 30 y 31, se expone el MB ganadero ($\$ \text{ha}^{-1}$) de los SM y ST para los valores reales y simulados durante el periodo 2005-2011. Para los SM el modelo simuló un MB medio de $166,4 \text{ \$ ha}^{-1}$ con un DST de $206,1 \text{ \$ ha}^{-1}$. Estos valores fueron muy cercanos a los cuantificados en condiciones reales de $182,4 \text{ \$ ha}^{-1}$ y un DST de $205,1 \text{ \$ ha}^{-1}$ respectivamente. Para los ST el modelo determinó un MB medio de $549,2 \text{ \$ ha}^{-1}$ y un DST de $207,4 \text{ \$ ha}^{-1}$. Al igual que en el caso anterior, estos valores fueron muy consistentes con los observados en los sistemas reales de $561,4 \text{ \$ ha}^{-1}$ y un DST de $207,1 \text{ \$ ha}^{-1}$. El grado de ajuste (R^2) entre ambos valores para los SM y ST fue de 83,71% y 94,22%, respectivamente. Las correlaciones que dieron origen a estos coeficientes de determinación fueron significativas en ambos casos ($p < 0,05$) y ($p < 0,01$), respectivamente.

Al igual que en la validación anterior, la rectas de regresión calculadas para los SM y ST no difirieron significativamente de la línea de bisectriz, tanto en la pendiente: ($p > 0,4255$) y ($p > 0,4765$), como en la intercepción ($p > 0,3365$) y ($p > 0,3671$), respectivamente. Este hecho, denota la inexistencia de sesgo de estimación. El valor de RMS obtenido fue de 26,2 y 8,62 lo que representó un 14,4 y 1,53 % respectivamente, respecto a las medias de los valores reales.

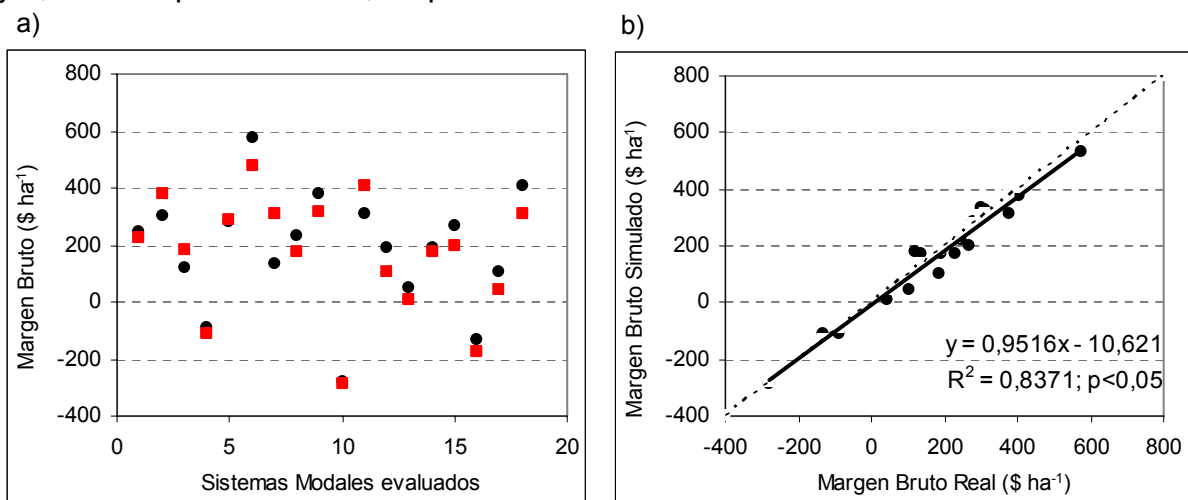


Figura 30. Margen Bruto (MB) ciclo anual de 3 sistemas ganaderos de Bahía Blanca y Cnel Rosales de nivel tecnológico modal, durante el periodo 2006-2011 (n=18). a) Niveles alcanzados y estimados. Rojo= Valores reales, Negro= Valores simulados, b) Análisis de regresión entre los valores simulados (Y) y los valores reales (X). La línea punteada indica la bisectriz (Y = X).

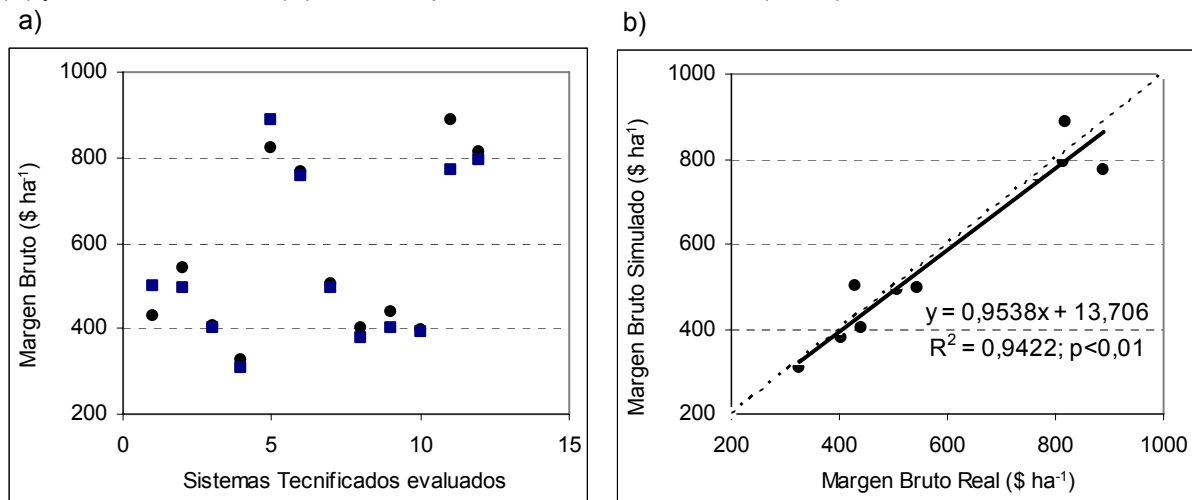


Figura 31. Margen Bruto (MB) ciclo anual de 2 sistemas ganaderos de Bahía Blanca y Cnel Rosales de alto nivel tecnológico semejante a ST, durante el periodo 2006-2011 (n=12). a) Niveles alcanzados y estimados. Azul= Valores reales, Negro= Valores simulados, b) Análisis de regresión entre los valores simulados (Y) y los valores reales (X). La línea punteada indica la bisectriz (Y = X).

Estos resultados analizados permiten confirmar un buen ajuste de la versión inicial de MBBCR para simular de manera realista la respuesta productiva de distintos sistemas ganaderos del área de estudio frente a la distribución de la precipitación estacional. Así también de su rendimiento económico esperado frente a la interacción con los precios de los productos e insumos.

Los niveles de los coeficientes de determinación (R^2) del modelo concuerdan con los encontrados por Castellaro *et al.* (2007) quienes desarrollaron un modelo de engorde de bovinos pastoril a partir de ecuaciones de AFRC (1993), (Poppi, 1996 y SCA, 1990). Este modelo fue validado en contraste con experimentos de engorde de toritos hereford sobre pasturas de trébol subterráneo durante 1979-1980 realizados por Klee *et al.* (1984a; 1984b) alcanzando un alto grado de precisión ($R^2 \geq 95\%$) y no observándose sesgo en las estimaciones.

Asimismo, coinciden con el trabajo de Villalba *et al.* (2006). Estos autores desarrollaron un modelo estocástico para representar los sistemas de manejo de vacas de montaña en los Pirineos españoles. El modelo considera aspectos productivos y reproductivos a partir de factores nutricionales y fisiológicos. Fue desarrollado con el objetivo de evaluar diferentes estrategias de alimentación invernal en esas condiciones productivas. La validación del modelo registró coeficientes de determinación del orden de 0.72 a 0,94 entre los valores de peso vivo observados y los estimados mediante el modelo.

Beretta *et al.* (2002 y 2006) evaluaron por medio del desarrollo de un modelo de simulación, la productividad y eficiencia de sistemas de producción de ganado de carne del sur de Brasil sobre distintas forrajeras con y sin la aplicación de suplementación. Dichos autores encontraron respuestas de tipo cuadráticas a la

variación de distintas modalidades de pastoreo con suplementación, reportando altos ajustes ($R^2 > 0,90$) en todas las situaciones estudiadas.

No obstante, identificamos que será muy importante continuar incluyendo algunos años más de muestreo futuros de los sistemas reales, a fin de continuar y mejorar la calibración de MBBCR a su región objetivo, sobretodo frente a las expectativas del impacto del CCG sobre la distribución de la precipitación.

Demment *et al.*, (1995) resalta que el grado de conocimiento de una temática está dado por la capacidad predictiva en términos cuantitativos. Por lo tanto, cuando las predicciones de los modelos son altas, los mismos confieren un alto grado de certidumbre para la realización de experimentos y análisis de resultados (Rotz *et al.*, 2005 a) y b).

3.3.3. Variables de Resultado

3.3.3.1. Análisis del riesgo productivo:

Al analizar la distribución de probabilidades de la PCN se aplicó la prueba de medianas de K-W la cual detectó diferencias ($p < 0,0001$) entre los cuatro tratamientos evaluados (Fig. 32).

Para el caso de la condiciones climáticas actuales en ST, la PCN varió entre 69 y 131 $\text{Kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, con una mediana de 112 $\text{Kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, y entre -4 y 72 $\text{Kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, con una mediana de 42 $\text{Kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ en SM.

Cuando se considera el efecto sobre las precipitaciones futuras de un CCG y su impacto en la PCN se observó que en ST-PPc varió entre 103 y 147 $\text{Kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, con una mediana de 135 $\text{Kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, y entre -22 y 76 $\text{Kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, con una mediana de 38 $\text{Kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ en SM-PPa.

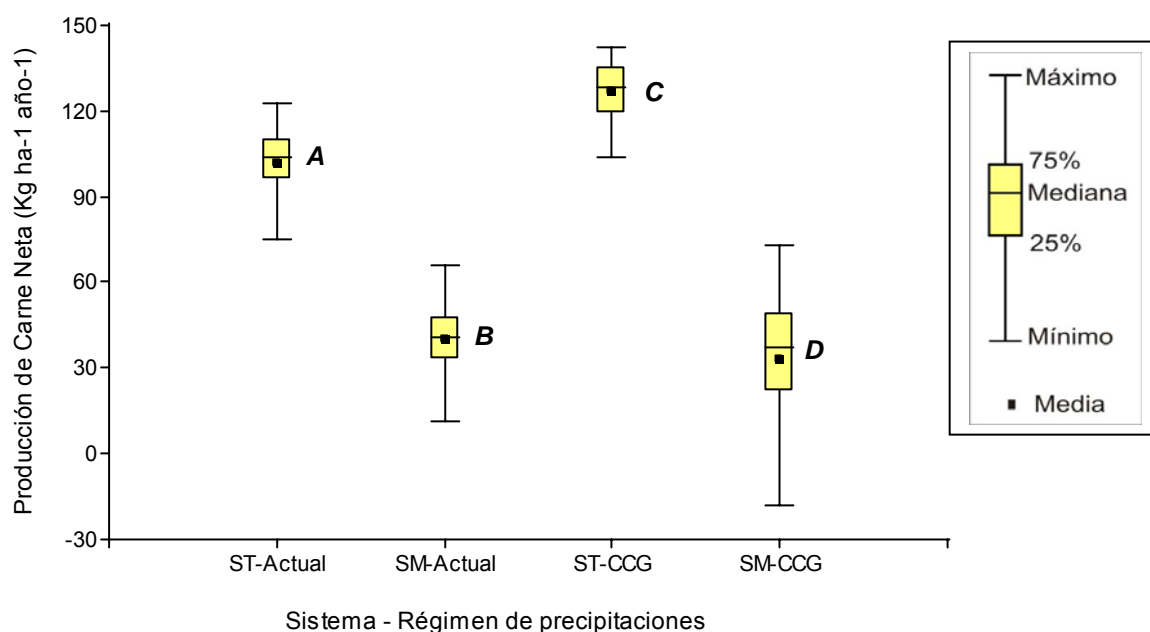


Figura 32. Gráfico de cajas comparando la distribución de probabilidad de la producción de carne neta (PCN) simulada para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). a) ST-Actual: Sistema

tecnificado (ST), en el régimen de precipitaciones actuales. b) SM-Actual= Sistema modal (SM) en el régimen de precipitaciones actuales. c) ST-Actual: Sistema tecnificado (ST), en el régimen de precipitaciones esperado bajo efectos futuros de cambio climático global (CCG). d) SM-Actual= Sistema modal (SM) en el régimen de precipitaciones esperado bajo efectos futuros de cambio climático global (CCG). Letras distintas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

La Figura 33 expone las distribuciones observadas de la PCN de los tratamientos y la FDP de mayor ajuste para cada uno. La distribución estocástica de la PCN en ST-PPa mostró su mayor ajuste (K-S) ($p < 0,0343$) a una función beta y SM-PPa a una función Weibull ($p < 0,0211$). Por su parte, una función triangular fue la que mejor ajustó a la distribución esperada de la PCN en ST-PPc ($p < 0,0481$) y en SM-PPc una Weibull ($p < 0,0229$). Los parámetros que determinan escala y forma de cada función se exponen en la misma figura.

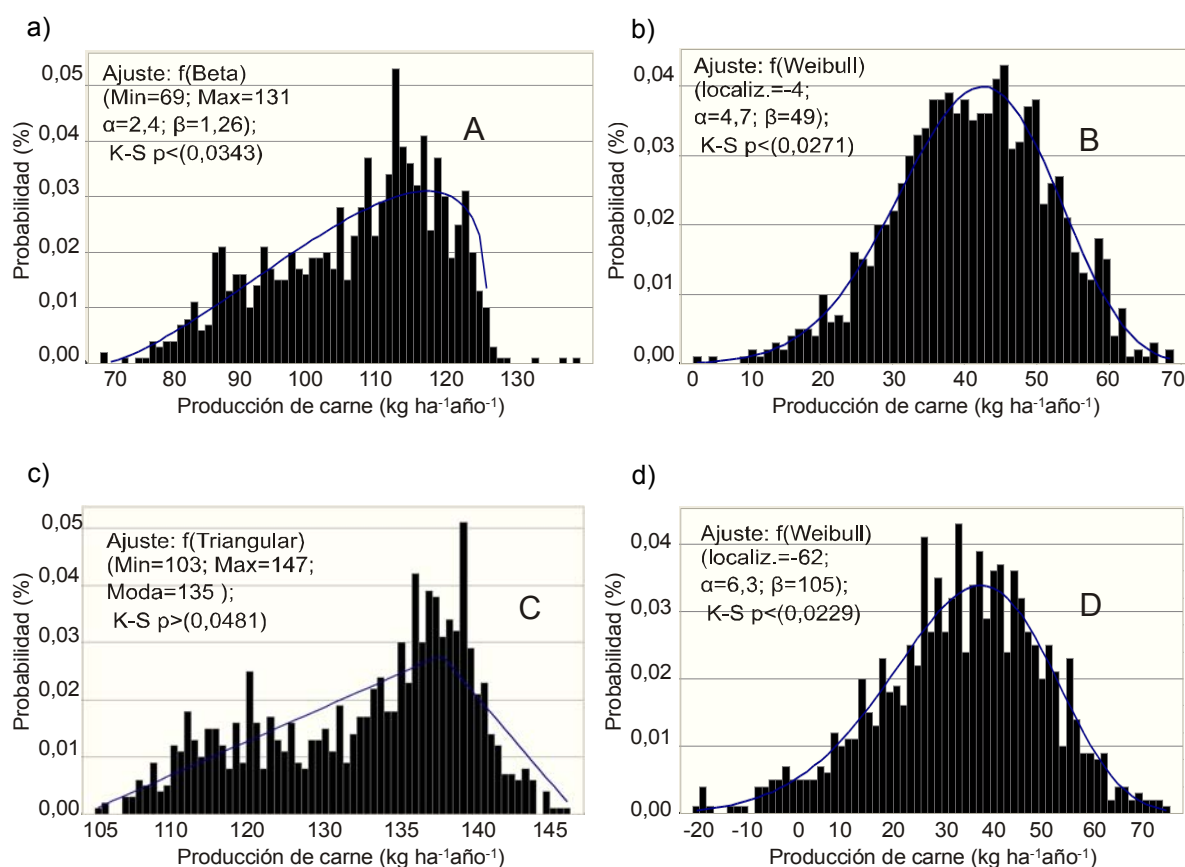


Figura 33. Distribución de frecuencias observada de la producción de carne neta simulada para los cuatro tratamientos evaluados ($n=5000$). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

Discusión:

Cuando se comparan los efectos medios de ST-PPa respecto a SM-PPa se observa un incremento del 166% en las medianas de la PCN ($p < 0,0001$). Estos resultados estarían indicando que el diseño tecnológico mejorado permitiría generar un incremento marcado en la productividad regional, como se detallará posteriormente en el análisis de algunas de las principales variables relacionadas a la tecnología aplicada a cada sistema. Por un lado, a partir de fundamentalmente la adopción integrada de tecnologías respectivas a la adopción de especies perennes C_4 y C_3 tolerantes a sequía que permitirían incrementar y conferir una mayor estabilidad a la oferta forrajera anual. Pero también a una planificación racional del manejo de la nutrición de los rodeos tendientes a optimizar la respuesta animal a partir de las características específicas de esa oferta forrajera (calidad, distribución estacional, etc), de manera combinadas con otras prácticas de manejo asociadas, como el destete precoz, el manejo de la CC y la suplementación estratégica.

Por su parte ST-PPc, demostró un incremento de las medianas frente a SM-PPc del 255% ($p < 0,0001$). Esta diferencia es aún superior a la observada entre ST-PPa y SM-PPa. Lo cual implica que frente a las señales futuras de cambio climático encontradas para la zona de estudio, los SM que transicionaran hacia sistemas tecnológicos semejantes a ST, no sólo se verían beneficiados en las condiciones actuales de PPa, si no que también experimentarían ventajas adicionales si las expectativas determinadas de CCG se efectivizaran en la región.

Complementando lo anterior, ST-PPc demostró un aumento del 20,5% ($p < 0,0001$) en las medianas respecto a ST-PPa, mientras la comparación de las medianas entre SM-PPc y SM-PPa expuso una reducción del 9,5% ($p < 0,0001$). Estos resultados, también indican que ST presentaría una mayor capacidad de producción frente a los cambios en la distribución de la precipitación esperada en PPc, los cuales podrían ser atribuidos a la modificación de algunos parámetros de las variables productivas que se discutirán posteriormente. Por otro lado, SM disminuiría ligeramente su capacidad productiva. Estos comportamientos opuestos en condiciones de PPc, explican el mayor incremento observado en la tasa de diferencia entre SM-PPc y ST-PPc respecto a la observada entre SM-PPa y ST-PPa.

Si bien el análisis de los efectos medios de los cuatro tratamientos expone resultados contundentes, el análisis de la totalidad de la distribución de probabilidad de cada tratamiento permite adicionar algunos aspectos importantes referidos a su riesgo y características de la variabilidad.

La integración matemática de las FDP determinadas para ST-PPa y SM-PPa, permite cuantificar que el riesgo de experimentar niveles de PCN por debajo de los $70 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en ST-PPa sería tan solo del 0,03%. Contrariamente, para SM-PPa la probabilidad de superar este nivel sería solamente de un 1,37%. Los CV de cada tratamiento fueron de 7,5% y 29% respectivamente, indicando que ST-PPa demostró además, una mayor estabilidad productiva relativa. Esto último significa que el riesgo relativo de la PCN disminuyó en ST-PPc un 74% respecto a SM-PPa.

Cuando se analiza la forma de la FDP de la PCN de ST-PPa se observa una clara asimetría o sesgo hacia la izquierda, que alcanza un coeficiente de asimetría de Fisher de -0,49. Esto indica que existe una minoría de los datos y de forma más dispersos, que está en la parte izquierda respecto a la media. Mientras la mayoría de los registros se encuentran a la derecha de la misma y de forma más concentrada.

Es decir, la distribución de los datos tiene a la izquierda una cola más larga que a la derecha. Este sesgo negativo, determina que la media aritmética ($107 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) sea menor que la mediana y ésta a su vez es menor que la moda ($116 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Esto conlleva a que la probabilidad de que el ST-PPa alcance una PCN superior a la media es mayor (57%) a que esta sea inferior a la misma (43%). Asimismo, significa que, por cada unidad de PCN incremental por sobre la media, las probabilidades se incrementan en una tasa menor de cambio, respecto a las observadas frente a la disminución de una unidad de PCN por debajo de la misma. Es decir, los eventos más improbables por debajo de la media se encuentran muy alejados de la misma. Mientras caso contrario, los eventos más improbables (en el mismo nivel de equiprobabilidad) por sobre la media, se encuentran más cercanos a dicho valor.

Por otro lado, la probabilidad acumulada del nivel de PCN de ST-PPa, por sobre la media se incrementa a una tasa decreciente, hasta alcanzar la PCN potencial del sistema ($131 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), para la carga animal máxima utilizada por el mismo.

El coeficiente de curtosis o grado de agudeza de una distribución con relación a la distribución normal, también fue alto (2,41), complementando la implicancias anteriores, donde la cola izquierda sesgada conlleva a un pico o apuntalamiento más alto respecto al de una distribución normal, y a una mayor proporción de la varianza situada a la derecha de la media y de forma más concentrada a la misma.

En el análisis de la variabilidad de la PCN esperada bajo CCG, los resultados permiten observar que además de verse incrementada la capacidad de PCN del sistema en ST-PPc respecto a los demás tratamientos, existiría un mínimo riesgo (1,71%), de que dicho sistema alcanzara un nivel menor a $112 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, valor observado como mediana en ST-PPa.

Mientras en SM-PPc, se observa que el riesgo de descapitalizarse productivamente, a partir de ejercicios con una PCN negativa, alcanzaría un 5,2%, con un valor mínimo de $-25 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, cuando para SM-PPa este riesgo era del 2,3% y se observaba un valor mínimo de $-425 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

El CV de ST-PPc y SM-PPc fue de 7,2% y 53,1% respectivamente, por lo cual el riesgo productivo en términos relativos en ST, disminuiría en un 86% respecto a SM.

El diseño tecnológico mejorado permitiría no solo incrementar los niveles medios de producción de los sistemas en las condiciones atmosféricas del clima actual y esperado en el futuro, si no también modificar marcadamente la distribución del riesgo productivo. ST-PPc sería el sistema que expone los mayores niveles de producción y la mayor estabilidad productiva, seguido cercanamente por ST-PPa. Mientras en el extremo opuesto se encuentra SM-PPc, el cual se vería perjudicado, tanto por sus menores niveles de producción medios, resultados interanuales menos estables y un mayor riesgo de presentar ejercicios a pérdida.

La utilización de la modelación numérica para los estudios de los efectos de combinaciones tecnológicas aplicadas a los sistemas de producción ganaderos y/o estudios de prospectiva se presenta como una herramienta muy valiosa y actual, para la optimización de la toma de decisiones, la elaboración de estrategias de adaptación y minimización de impactos negativos. En este sentido, la utilización de modelos en estudios de sistemas ganaderos ha permitido avances importante en la

generación de conocimiento, tal como demuestran los trabajos de McCown, (1981); McCown *et al.* (1981); Bourdon, *et al.* (1987 a y b); Azzam *et al.* (1990); Hochman *et al.* (1991); Hoch *et al.* (2004 a y b); Romera *et al.* (2004); Gradiz *et al.* (2007); Bryant *et al.* (2008); Díaz-Solís *et al.* (2009); Phillips *et al.* (2009); Villalba *et al.* (2010); Kraatz *et al.* (2012); Ashfield *et al.* (2013).

Pang *et al.* (1999) destaca la potencialidad de los modelos para la consideración simultánea de múltiples factores en un sistema integrado, lo que podría ser muy útil para evaluar los posibles efectos de diferentes estrategias de gestión y producción sobre la eficiencia bioeconómica de los sistemas de una determinada región. El modelo desarrollado Alberta Beef Production Simulation System (ABPSS) de la Universidad de Alberta (Canada), está compuesto por cuatro submodelos: inventario de ganado, requerimientos nutricionales, producción de forraje y económico; donde los requerimientos nutricionales se basaron en NRC (1996). Estos autores a través de dicho modelo, evaluaron los sistemas ganaderos predominantes en la región de Alberta (Alberta Agricultura, 1987; Alberta Agricultura, 1995; Agriculture and Agri-Food Canada, 1995), a partir de las especies y recursos forrajeros más comunes en diferentes suelos y zonas climáticas en dicha región. Sus resultados les permitió determinar que más allá de la oferta forrajera utilizada en dicha región, las prácticas de manejo ganadero serían cruciales para definir aspectos relativos a la demanda total de nutrientes entre las cuales resaltan: 1) El peso de las vacas adultas alcanzado en el invierno jugaría un rol preponderante en la definición de los requerimientos totales de nutrientes del ciclo productivo; 2) La edad y peso de destete, junto a la duración de la lactancia serían también dos variables que afectarían en mayor medida los requerimientos de EM. Estos resultados reportados por Pang *et al.* (2009) fueron consistentes con las observaciones entre ST y SM en el presente trabajo de tesis, donde, como se analizará posteriormente en detalle, el aumento de la PCN en ST se vería incrementado por un aumento de la oferta forrajera, pero también por una integración de prácticas de manejo nutricional de los animales tendientes a una optimización de la utilización de la EM disponible en los forrajes y su conversión a carne.

Díaz-Solís *et al.* (2009) a través de la parametrización de un modelo de simulación de ganadería vacuna extensiva, adaptado a las características específicas de la región árida del estado de Coahuila, México (Díaz-Solís *et al.*, 2003), lograron estudiar el efecto de distintas estrategias de manejo, para minimizar el impacto de la sequía sobre dichos sistemas de cría. La determinación estocástica de los patrones de lluvia observados en el registro (1950-1994), permitió re-generar valores de precipitación mensuales representativos de la variabilidad histórica de esta región, confiriendo de una mayor realidad y nivel de certeza para simular la producción de forraje de los sistemas y evaluar distintas alternativas de manejo ganadero. Dichos autores encontraron que los sistemas modales alcanzaban una media de la PCN de $0,9 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, difiriendo significativamente ($p < 0,01$), respecto a los sistemas de mayor tecnificación, que mediante el ajuste de carga, en función de la CC de los vientres y las precipitaciones acumuladas de los últimos dos años, alcanzaban una media de la PCN de $10,6 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (+1077%).

Los modelos son de alta utilidad para evaluaciones de impacto del CCG (Henseler *et al.*, 2009). En un estudio reciente Dono *et al.* (2013), a partir de un modelo estocástico (EPIC), evaluaron dicho impacto del cambio climático sobre la variabilidad de la precipitación, las necesidades de agua y los rendimientos de los

sistemas predominantes de maíz bajo riego del estado de Sardinia (Italia). A través de la simulación encontraron que la demanda de agua para riego se incrementaría, ya que a diferencia de la zona de estudio de esta tesis, se esperaría una baja en las precipitaciones futuras en dicho estado. Este hecho derivaría en la necesidad de extracción de los acuíferos subterráneos de mayor profundidad, incrementando los costos directos de la producción y reduciendo los márgenes de las explotaciones agropecuarias de esta región. Los resultados de este estudio, se encuentran en tratamiento por la Política de Desarrollo Rural Europea, de manera de anticiparse a los efectos negativos que pudiera generar el cumplimiento de estas proyecciones sobre las explotaciones rurales, economía de esta región y la oferta de este producto.

Los resultados hallados demuestran que los estudios de impacto de tecnologías de manera integrada a la variabilidad ambiental de una región son un paso necesario para alcanzar un mejor entendimiento de los sistemas de producción y las posibilidades de mejora de los mismos (Coyle, 1978; Devendra *et al.*, 2002; Komarek *et al.*, 2012). Comprender la dinámica interna de los sistemas es también un paso importante en el proceso de modelado (Woodward *et al.*, 2008). La variabilidad total de los sistemas de producción estudiada en este trabajo es evidente solo en largos periodos de tiempo como los utilizados. Dichos resultados sería prácticamente improbable que pudieran ser observados en experimentos de campo de corto plazo. En el extremo opuesto, experimentos como el presente a través de la modelación previa de los sistemas permite realizar simulaciones de largo plazo y el consecuente estudio del desempeño de sistemas en condiciones de incertidumbre del medio ambiente y frente a la interacción de numerosas variables. Estos criterios, son necesario para comprender los elementos de la estructura misma de los sistemas y su interacción con el ambiente, que contribuyen a su variabilidad total (Romera *et al.*, 2006).

Por otro lado, el incremento de los niveles de producción de los sistemas ganaderos requiere de un continuo acercamiento y adaptación a los avances de la tecnología, a la evolución de los mercados y de las políticas agropecuarias. En este contexto los modelos matemáticos bioeconómicos pueden ser un instrumento muy útil para investigar y entender cómo los sistemas de producción reaccionan ante circunstancias cambiantes (Ashfield *et al.*, 2013).

3.3.3.2. Análisis del riesgo económico.

La Figura 34 expone las FDP determinadas para el margen bruto (MB) de los 4 tratamientos. Se detectaron diferencias en las medianas por K-W ($p > 0,0001$), entre todos los tratamientos.

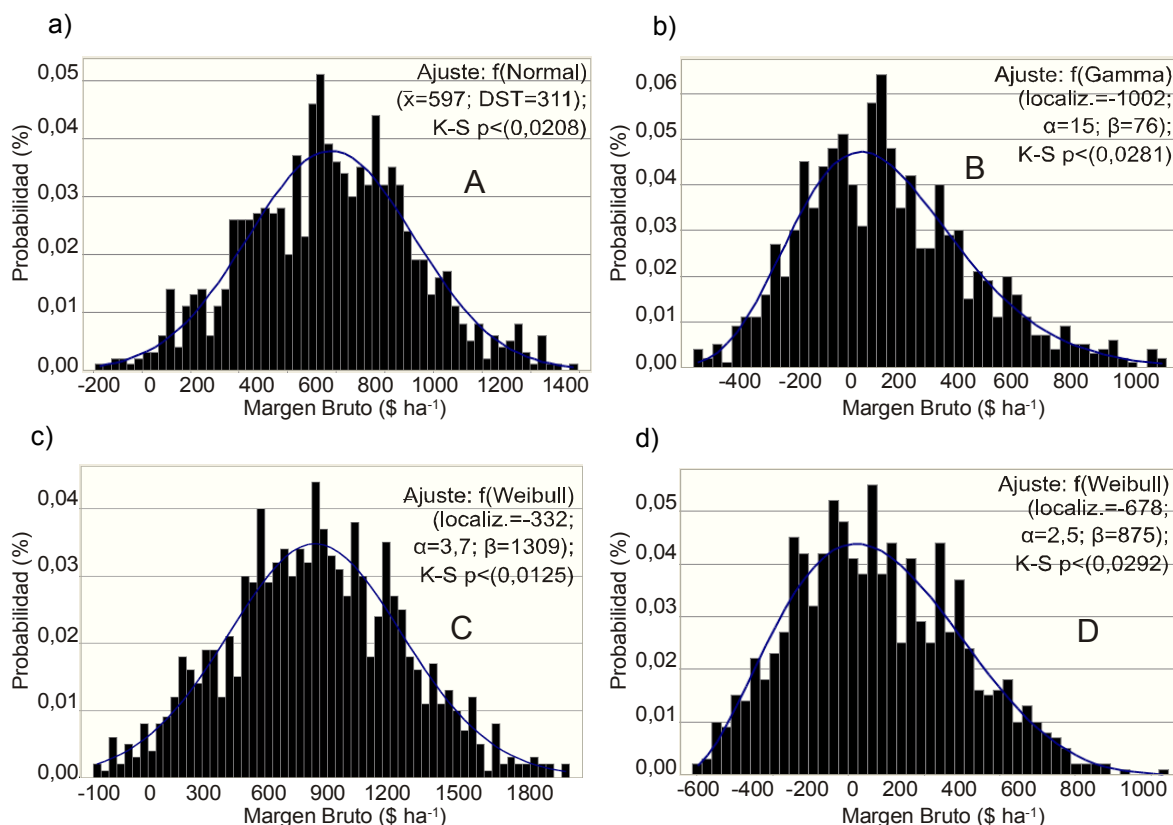


Figura 34. Distribución de frecuencias observada del margen bruto simulado para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

Una función normal fue la que mejor ajustó ($p < 0,0206$) a ST-PPa con un rango entre -194 a 1422 \$ ha^{-1} y una mediana de 602 \$ ha^{-1} , mientras una función Weibull ($p < 0,092$) lo fue para SM-PPa, con un rango entre -644 y 1102 \$ ha^{-1} , y una mediana de 104 \$ ha^{-1} .

ST-PPc mostró su mayor ajuste a una función Weibull ($p < 0,0125$) que varió entre -123 y 1858 \$ ha^{-1} , con una mediana de 812 \$ ha^{-1} . Mientras SM-PPc a una función gamma ($p < 0,0281$) entre -617 y 1018 \$ ha^{-1} , con una mediana de 69 \$ ha^{-1} . Los CV de ST-PPa y SM-PPa se ubicaron en 60 y 211 % respectivamente, mientras en ST-PPc fue del 49 % y en SM-PPc del 322 %.

Discusión:

ST-PPa demostró un incremento del 479 % ($p < 0,0001$) en la mediana de su margen bruto respecto a SM-PPa, mientras la mediana de ST-PPc superó en un 1077 % a la de SM-PPc ($p < 0,0001$). El contraste entre los efectos medios de ST-PPc respecto a ST-PPa expuso un incremento de $34,8$ % en la mediana del primero ($p < 0,0001$) y SM-PPc fue inferior en un $33,7$ % a SM-PPa ($p < 0,0001$).

Se conoce que el diseño tecnológico de un sistema genera cambios tanto en su estructura de costos como también en su ingreso neto a partir de una

modificación de su capacidad de producción. Estos resultados exponen que los incrementos en los efectos medios en ST-PPa respecto a SM-PPa, permiten un incremento superior en el margen bruto (+479%), respecto al observado en la variable PCN (+166%). El mismo se encontraría explicado, justamente, por un aumento de los ingresos netos (136%) más que proporcional al de los costos directos (31,4%) de ST-PPa respecto a SM-PPa.

Esta diferencia se observa de manera análoga, entre ST-PPc y SM-PPc donde el mayor aumento del MB (+1077%), frente a la PCN (+255%), estaría explicado por un incremento mayor de los ingresos netos (210%), respecto al de los costos directos (41,7%).

Estos resultados demuestran que en las condiciones ambientales actuales, la extensión y adopción del diseño técnico mejorado, permitiría un aumento substancial en el MB respecto al estado modal actual de la tecnología utilizada en los sistemas de producción regionales. Asimismo, de propender los cambios esperados en la distribución de la precipitación frente a la evolución del calentamiento global, estas diferencias entre ambos sistemas tecnológicos serían aun más altas. Según este estudio de prospectiva ambos resultados confieren una mayor seguridad a los agentes de decisión de que un cambio tecnológico actual en esta región, además de verse favorecido en la actualidad, permitiría una mejor adaptación a las condiciones ambientales esperadas en el futuro cercano.

Cuando se analizan las características referidas al riesgo y la variabilidad de las distribuciones obtenidas se observa que ST-PPa demostró un menor riesgo de presentar MB negativos (4,9%) respecto a SM-PPa (32,4%) y una mayor probabilidad (31,2% y 6,6% respectivamente), de alcanzar MB superiores a un nivel de 800 \$ ha⁻¹. Por su parte, ST-PPc presentó una probabilidad de 2,94% de alcanzar MB por debajo de cero y del 52% de superar los 800 \$ ha⁻¹, respecto a SM-PPc donde las mismas probabilidades se ubicaron en un 53,1% y 4,2% respectivamente.

El tratamiento que manifestó el menor riesgo económico fue ST-PPc dado por los mayores niveles en la mediana del MB, la mayor estabilidad económica relativa dada por su menor CV y la menor probabilidad de presentar ejercicios con pérdidas económicas. Este fue seguido cercanamente por ST-PPa. Mientras de manera contraria, SM-PPc mostró la mayor vulnerabilidad económica, donde además de presentar la menor mediana, mostró la mayor volatilidad relativa esperada en sus resultados (CV) y la probabilidad más alta de presentar ejercicios a pérdida.

Amer *et al.* (1994) señalan que la eficiencia de las explotaciones ganaderas, debe ser evaluada a nivel del sistema integrado por sobre las partes aisladas del sistema o la performance individual del animal. En este sentido el análisis económico de las combinaciones de tecnologías y todos los aspectos de la producción, debe ser tenido en cuenta al momento de optimizar los resultados productivos (Kaufman *et al.*, 2011).

Dentro de la literatura encontramos que la utilización de la modelación ha permitido a diversos autores la realización de estudios del impacto económico de diferentes tecnologías agropecuarias previo a su ejecución en la realidad (Bartl *et al.*, 2009; Beauchemin *et al.*, 2010; Huyen *et al.*, 2010; Monjardino *et al.*, 2010; Uthes, *et al.*, 2010; Beukes *et al.*, 2011; Marques *et al.*, 2011; Parsons *et al.*, 2011; Jiang *et al.*, 2012; Martha *et al.* 2012; Oishi *et al.*, 2013). La utilización de forrajeras perennes adaptadas al ambiente específico de la zona de estudio es una tecnología

que como se comentará posteriormente, permite un impacto positivo directo sobre los resultados económicos de los sistemas ganaderos.

Resultados semejantes sobre el beneficio económico, fueron encontrados en estudios a través de modelos de los sistemas lecheros modales de Victoria (Australia), por Chapman *et al.* (2008a), a través de la adecuación de la base forrajera y la utilización de altas proporciones de forrajeras perennes adaptadas a dicha región agroecológica. Estos autores determinaron incrementos del beneficio de 70 a 100 U\$S ha⁻¹ (p<0,05), a partir del incremento de la superficie de dos forrajeras adaptadas de alta calidad (*Lolium perenne* y *Festuca arundinacea*), que permitieron disminuir los elevados consumos y dependencia de suplementos de alto costo para la alimentación de las vacas. En este sentido, el aumento de la oferta de nutrientes a partir de forrajes producidos en el predio, de bajo costo, explicó entre el 30% y 45% de la variabilidad del resultado económico de dichos sistemas.

Por su parte, Chapman *et al.* (2008b) estudiaron los efectos de la variabilidad climática interanual sobre la economía de los sistemas mencionados anteriormente, a través de la construcción de escenarios climáticos de lluvias tempranas, medias y tardías en las estaciones de activo crecimiento de estas forrajeras, sobre la base de simulaciones de los patrones de los registros históricos desde 1900 a 1999. En este trabajo los sistemas con mayor proporción de *Festuca arundinacea* manifestaron resultados económicos superiores en situaciones de sequía (p<0,05). Los autores atribuyen que el mayor desarrollo radicular de esta especie, le permitiría una exploración y captación del agua del suelo más eficiente respecto a *Lolium perenne*, y de esta manera una producción de forraje interanualmente más estable. Este hecho se relacionó con un menor riesgo del negocio, alcanzado mediante la adecuación de la tecnología forrajera a la variabilidad climática característica de la región. Estos resultados se encuentran en línea con los hallados en esta tesis, donde se puede observar el impacto del diseño tecnológico sobre la optimización del resultados económico de la empresa ganadera.

Ashfield *et al.* (2013) analizaron recientemente distintos sistemas tecnológicos de producción construidos a través de modelos. El desempeño financiero de todos los sistemas examinados fue altamente sensible al precio de venta de la hacienda y relativamente poco sensible al precio de los suplementos utilizados y fertilizantes aplicados en los forrajes. Estos autores observaron que en promedio, el MB por explotación disminuyó de € 9900, € 1800 y € 500, respectivamente, cuando el precio de la carne, los concentrados y fertilizantes aumentó y disminuyó en un 10%.

En este sentido, la mayor sensibilidad del MB de las explotaciones ganaderas de la zona de estudio frente a variaciones en los precios de venta de la hacienda, por sobre modificaciones de la misma magnitud porcentual de los precios de los insumos, también ha sido visualizada en estudios de los sistemas de la región (Chimeno *et al.*, 2001, Torres Carbonell *et al.*, 2009).

Los estudios de impacto económico de CCG sobre los sistemas agropecuarios predominantes de una región como en este trabajo de tesis, son una herramienta en utilización creciente en la actualidad (Henseler *et al.*, 2009), ya que permiten evaluar alternativas técnicas de mitigación y/o adaptación, tal como demuestran las investigaciones recientes de Thornton *et al.* (2009).

Jiang *et al.* (2012) encontraron, a través de un modelo hidro-económico aplicado a los sistemas agropecuarios de la cuenca del Murray-Darling, Australia,

que de cumplimentarse el escenario visualizado para 2030 de aumento de las condiciones de anomalías secas extremas, se generaría una reducción significativa de la superficie irrigada y por lo tanto de los beneficios económicos regionales. No obstante, se cuantificaron que a través de políticas de comercio y manejo del agua interregionalmente, se podría lograr que la disminuciones de los márgenes económicos de esta cuenca, fueran proporcionalmente menores a las reducciones de la disponibilidad de agua. Adicionalmente, analizaron que el desarrollo y adopción de cultivos de mayor tolerancia a la sequía y la extensión de tecnologías de manejo de los mismos para disminuir el uso de agua, asistiría a los sistemas de dicha cuenca en su adaptación al cambio climático de las precipitaciones visualizadas. Este hecho permitiría disminuir significativamente las pérdidas económicas potenciales del impacto regional de dicho evento negativo.

3.3.3.3. Relación entre la PCN el MB.

La relación del comportamiento del MB respecto a la PCN de cada tratamiento fue analizado a través de regresión lineal que se expone a continuación (Fig. 35).

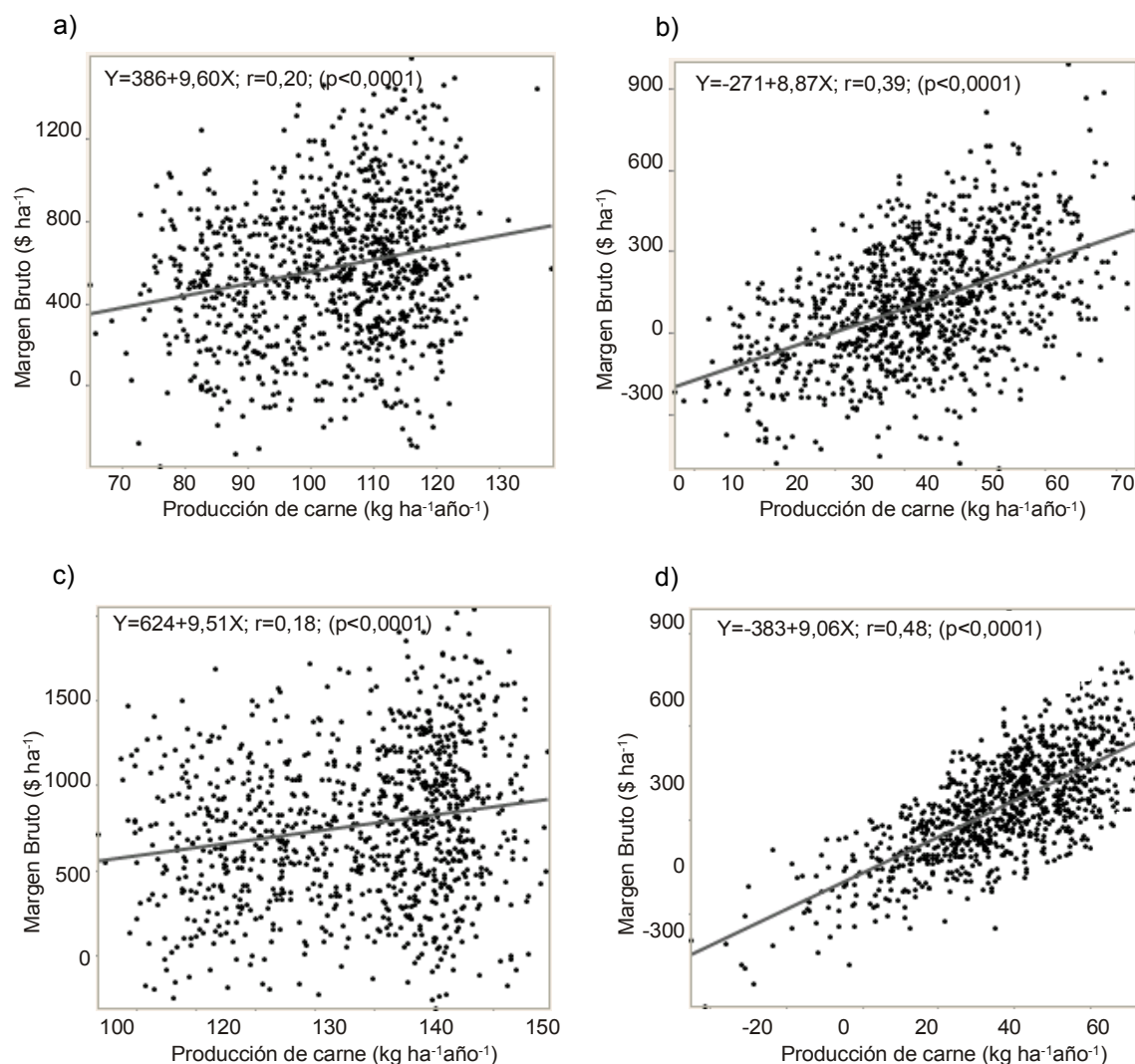


Figura 35. Relaciones entre el margen bruto y la producción de carne neta de los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones

actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc).

El análisis de la varianza de las regresiones encontró diferencias ($p < 0,001$) en los cuatro tratamientos evaluados, indicando que existe una relación lineal entre ambas variables con una pendiente distinta de cero. Como es de esperar, esta relación fue positiva, sin embargo en todos los casos los coeficientes de correlación (r) fueron bajos (inferiores a 0,5). Esto significa que la proporción de la variación en el MB que es explicada por la PCN es baja, lo cual indicaría que existen otros factores además de los niveles de producción responsables de dicha variabilidad. Estos resultados concuerdan con los reportados por otros autores (Chimeno *et al.*, 2001; Parsons *et al.*, 2011; Ashfield *et al.*, 2013), que señalan la elevada incidencia de la volatilidad característica de los precios de los productos e insumos, sobre el resultado económico de la producción agropecuaria.

Posiblemente, los mayores niveles del coeficiente de correlación (r), observados en SM-PPa y SM-PPc responden a que son sistemas que utilizan una menor cantidad de insumos, por lo tanto existe una menor cantidad de variables atadas a un precio con comportamiento aleatorio, influyendo sobre el resultado del MB. Asimismo los niveles de PCN son significativamente menores a los de ST, por lo tanto cambios en los precios de venta de la hacienda repercuten en una menor medida sobre el ingreso neto del MB en SM, respecto a ST donde el volumen de producción es mucho mayor.

Ponssa *et al.* (2003 y 2007) en un estudio de los sistemas de cría en la Cuenca del Salado encontraron evidencias de que las variables productivas repercuten de manera diferencial sobre la PCN y sobre las variables económicas que conforman el MB. A través de un análisis de elasticidades encontraron que la variabilidad de la tasa de preñez presentaba un comportamiento inelástico (coeficiente inferior a 1) respecto a la PCN (+0,41), y elástico frente al Ingreso Neto (+1,47). Es decir que frente a un mismo cambio de la tasa de preñez, la PCN reaccionaría en una proporción mucho menor a la magnitud porcentual en la que reacciona el ingreso neto. Esto se debe a que el precio del ternero presenta un mayor valor que el resto de las categorías vendidas, por lo tanto un incremento de la PCN por una mayor cantidad de terneros, genera un incremento mayor sobre el ingreso neto que si dicho aumento de la PCN fuera efectuado por otra categoría de menor valor monetario del Kg de carne.

Estos resultados permiten enunciar que si bien la PCN es uno de los componentes del ingreso neto, con relación positiva, el valor final del resultado económico se encuentra condicionado también por el precio de venta y la estructura de costos del sistema tecnológico.

3.3.4. Análisis de las variables del proceso productivo primario

3.3.4.1. *Stipa tenuissima*.

La PPN de *S. tenuissima* mostró diferencias ($p < 0,0001$) de medianas por K-W entre PPa y PPc (Fig. 36).

En PPa varió entre 128 y 3197 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 848 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, y entre 67 y 3146 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 683 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ en PPc.

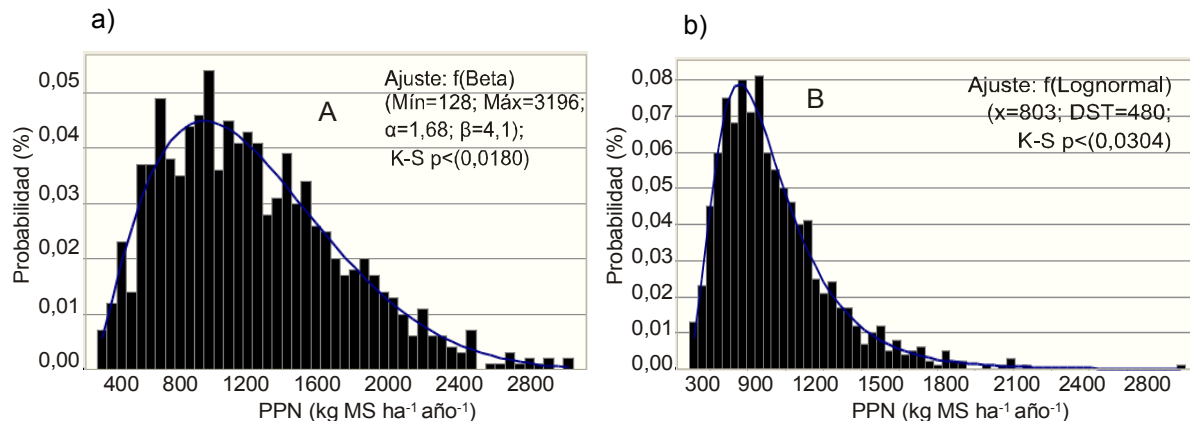


Figura 36. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada de *Stipa tenuissima* en la región de estudio (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) PPa= Respuesta a la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) PPc= Respuesta a la distribución de precipitaciones esperada bajo efectos futuros de cambio climático global. Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W (p<0,05).

La variabilidad entre ambos tratamientos presentó diferentes comportamientos. *S. tenuissima*-PPa ajustó mejor por K-S a una función Beta (p<0,0180) y *S. tenuissima*-PPc obtuvo su mejor ajuste a una función lognormal (p<0,0304). Los parámetros de cada función se exponen en la misma figura (Fig. 36).

Discusión:

Estos resultados demuestran que bajo el cambio esperado en la distribución de la precipitación en PPc, la mediana de la PPN de la especie predominante en el campo natural de los sistemas modales de la zona de estudio (Gargano *et al.*, 2000), se vería disminuida en un 19,5% (p<0,0001). Esto hecho estaría atribuido principalmente a una caída en la precipitación media de la primavera y su mayor variabilidad proyectada (Fig. 23), ya que la misma es la estación de mayor tasa de crecimiento en este tipo de especies C₃ y por lo tanto, la de mayor contribución a la PPN anual (Distel y Boo, 1996; Cerqueira *et al.*, 2004; Moretto 2009; Andrioli *et al.*, 2011).

La variabilidad de la PPN entre ambos tratamientos presentó diferentes comportamientos, en respuesta a los patrones de variación de la precipitación en PPa y en PPc, observable en las distintas FDP de ajuste.

A partir de la FDP de *S. tenuissima*-PPa, determinamos que existiría una probabilidad del 15,4% de presentar una PPN menor a 500 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ y del 17,2% de que la misma fuera superior a 1500 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹. Mientras *S. tenuissima*-PPc, expuso una probabilidad del 30,6% y 8,5% respectivamente, para las mismas condiciones. Esto estaría indicando que si bien el efecto del CCG futuro no generaría modificaciones importantes en las probabilidades de la PPN mínima de

este recurso, si derivaría en una disminución del 50,58% de las probabilidades de alcanzar una PPN superior a los 1500 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹. Asimismo, en *S. tenuissima*-PPc se vería disminuida su estabilidad productiva relativa en la región, lo cual es observable en un CV del 60%, respecto al 51% visualizado para *S. tenuissima*-PPa.

Desde otro punto de análisis, los cambios en la distribución de la precipitación, generarían una disminución del 34,5% ($p < 0,0001$) en la eficiencia del uso de agua de lluvias durante el ciclo de crecimiento de esta especie en PPc (0,91 Kg MS mm⁻¹) respecto a PPa (1,39 Kg MS mm⁻¹), por los motivos mencionados.

Moretto (2009) determinó para esta especie una PPN de 32,8 g planta⁻¹ año⁻¹ en la región del Caldenal (38° 46 S, 63° 40 O) a 100 km al Oeste del Pdo. de Bahía Blanca, en un ensayo de productividad mensual en 2001. MBBCR a partir del registro de lluvias de dicho ensayo en esta zona aledaña, predijo una PPN expresada en g planta⁻¹ año⁻¹ de 36,1. Si bien es solo un año de comparación, la bondad de ajuste de la predicción fue muy satisfactoria (+10,1%). La ligera sobreestimación podría estar explicada por posibles mejores de las características edáficas y físico-químicas en Bahía Blanca, con una media de precipitación histórica superior, respecto a la del sitio de ensayo en el Caldenal.

Stipa tenuissima es una especie C₃ nativa del sur de la provincia de Buenos Aires y La Pampa, de baja palatabilidad y por tal motivo de baja preferencia animal (Pisani *et al.*, 2000; Distel *et al.*, 2005). Estas especies de baja palatabilidad presentan mecanismos de evitación de la hevíboría (Lindroth, 1989; Rosenthal *et al.*, 1994; Strauss *et al.*, 1999). Por lo tanto, frente a condiciones de sobrepastoreo en pastizales nativos de los sistemas ganaderos regionales, este tipo de especies incrementa su abundancia en desmedro de especies nativas C₃ de alta palatabilidad (Llorens 1995; Distel & Boo, 1996; Moretto *et al.*, 2003). Este fundamento explicaría la predominancia actual de especies de baja palatabilidad en los campos naturales y naturalizados de los sistemas modales de los distritos de Bahía Blanca y Cnel. Rosales (Gargano *et al.*, 2000).

Diversos estudios señalan que la baja PPN de especies C₃ de baja palatabilidad como *S. tenuissima*, se debería a aspectos morfológicos y fisiológicos como su alta densidad de los tejidos, defensas constitutivas (taninos y lignina), bajos contenidos de minerales y proteínas y bajas tasas de fotosíntesis (Hobbie 1992; Chapin III, 1993; Moretto *et al.*, 1997; Aerts y Chapin III, 2000; Grime, 2001; Cerqueira *et al.*, 2004; Distel *et al.*, 2005; Andrioli, 2008). Los tejidos vegetales de alta densidad de este tipo de especies se caracterizan por un alto contenido de mesófilo, fibra y esclerénquima (Garnier *et al.*, 1994; Van Arendonk *et al.*, 1994; Ryser *et al.*, 1995; Ryser, 1996; Schlapfer *et al.*, 1996; Carrera *et al.*, 2003; Saint Pierre *et al.*, 2004) que si bien no requieren un alto consumo de nutrientes, son altamente costosos de producir en términos de necesidades de energía fotosintética (Money *et al.*, 1982; Griffin, 1994; Yuan *et al.*, 2005).

Estos aspectos, explicarían la baja PPN encontrada en esta especie incluso en los años climáticos simulados en este experimento, de altas dotaciones de lluvias. Baruch *et al.* (1996), Ryser (1996); Ryser *et al.*, (1999) y Wilson *et al.*, (1999) señalan una correlación negativa entre la densidad foliar de estas especies y la velocidad de crecimiento en un amplio rango ecológico, atribuyendo dicho comportamiento al mayor costo de producción de este tipo de tejidos densos.

Asimismo, los trabajos de Baruch *et al.* (1985), Porter (1992), Baruch *et al.* (1993), Nagel (2001), Chapin *et al.* (2002) mencionan, que este tipo de especies frente a una misma disponibilidad energética, sintetizan una mayor cantidad de compuestos no estructurales (ej: ácidos orgánicos, azúcares solubles, compuestos nitrogenados) que incrementan la actividad fisiológica y una menor proporción de compuestos estructurales (ej. celulosa, hemicelulosa y lignina), por lo que reflejan un mayor costo energético por unidad de biomasa producida respecto a especies gramíneas C₃ de mayor palatabilidad.

Esto mecanismos de evitación de la herbivoría, si bien favorecen la perdurabilidad de esta especie en pastizales naturales bajo sobrepastoreo, compiten por recursos para el crecimiento (Herms *et al.*, 1992; Simms, 1992; Van der Meijden *et al.*, 1998; Moretto, 2009). Los resultados hallados en la modelación de la PPN de esta especie son consistentes con los reportados por la literatura científica. Especies C₃ autóctonas de baja palatabilidad como *S. tenuissima* dispondrían de menores recursos para su crecimiento, por lo tanto su PPN sería muy baja, derivando en una baja contribución a la oferta forrajera de los sistemas de producción del área de estudio. Bajo el cambio experimentado en la distribución de la precipitación frente a la tendencia del CCG, se visualiza que su contribución podría ser aún menor y más riesgosa.

Dada la superioridad en los valores de PPN medios reportados por algunos autores de las especies autóctonas C₃ de alta palatabilidad frente a las de baja palatabilidad en regiones aledañas a la zona de estudio (Pisani *et al.*, 2000; Distel *et al.*, 2005; Saint Pierre *et al.*, 2004; Moretto, 2009) la evaluación de dichas especies de alta palatabilidad dentro de esta área, como el estudio de su impacto en los sistemas de producción a través de modelos con cambio climático como MBBCR, se identifica como una área de investigación importante para los próximos años. En este tipo de proyectos investigativos, como en este trabajo de tesis, se potenciaría la integración del trabajo experimental de campo con la simulación numérica.

3.3.4.2. *Thinopyrum ponticum* (Podp.) (Syn. *Agropyron elongatum*, *Elymus elongatum* Host) cv. Tobiano INTA.

La PPN de Agropiro manifestó diferencias ($p < 0,0001$) de medianas por K-W entre PPa y PPc (Fig. 37).

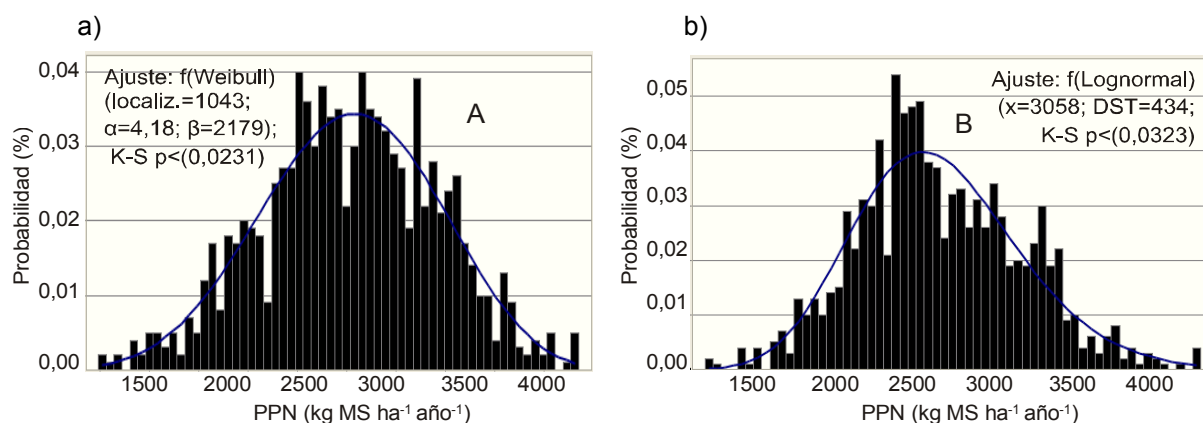


Figura 37. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada de *Thinopyrum ponticum* (Podp.) cv. Tobiano INTA en la región de estudio (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a)

PPa= Respuesta a la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) PPc= Respuesta a la distribución de precipitaciones esperada bajo efectos futuros de cambio climático global. Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

Esta especie en PPa mostró su mayor ajuste K-S a una función Weibull ($p < 0,0231$) y en PPc a una lognormal ($p < 0,0323$). La primera varió entre 1214 y 4168 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 2932 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹. La segunda, entre 1117 y 4207 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 2645 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹.

Discusión:

Los cambios en la distribución de las precipitaciones en PPc, solo afectaron en un -9,7% la PPN mediana de Agropiro respecto a PPa ($p < 0,0001$). Estos resultados demuestran que Agropiro, si bien es una especie C₃, al igual que la especie representativa del campo natural, manifiesta una productividad mediana muy superior y más estable frente a la misma variabilidad en las precipitaciones zonales.

El análisis de las distribuciones de frecuencia de ocurrencia de la PPN de Agropiro, demostraron que en PPa el riesgo de alcanzar una PPN menor a 2000 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ fue de 7,73%, mientras en PPc fue del 6,2 %. Para niveles superiores a 3500 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ fue del 20,2 y 16,6% respectivamente.

La determinación de los niveles de riesgo de la PPN en ambos contextos, estaría mostrando que en PPc, no se encontrarían diferencias contundentes en las probabilidades de la PPN por debajo de los 2000 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹. No obstante, se observa que la probabilidad de ocurrencia de ciclos con niveles por encima de 3500 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, presentaría una disminución en su frecuencia esperada del 25,5%. Por lo tanto, este último aspecto sería el impacto negativo más importante de PPc, sobre la productividad de esta especie.

El CV en PPa fue de 9,7% mientras en PPc del 13,2%, lo cual denota solo una leve variación en la estabilidad relativa de producción de esta especie frente al impacto del CCG previsto.

La eficiencia media del uso de agua de lluvias durante el ciclo de crecimiento fue de 4,79 Kg MS mm⁻¹ en PPa y de 3,51 Kg MS mm⁻¹ en PPc ($p < 0,0001$), expresando en términos relativos una reducción similar (-34,2%) a la observada en *S. tenuissima*.

Dado que no encontramos en la literatura, publicaciones de ensayos de producción de biomasa de Agropiro dentro de la zona de estudio, se testeó la capacidad predictiva de MBBCR, frente a los resultados de la Red Nacional de Evaluación de Rendimiento de Cultivares de Agropiro de INTA (Sevilla *et al.*, 2011 y 2012), para las localidades más cercanas en cada ciclo productivo y en función de la distribución de las precipitaciones de cada sitio experimental. La PPN de Agropiro para dicho cultivar predicha por MBBCR fue un 9% y 14 % inferior y un 4,9% superior respecto a la reportada en 2008, 2009 y 2010 en la Estación Agropecuaria Balcarce, respectivamente. La media de los tres ciclos predicha respecto a la observada fue un 6% inferior. Mientras, respecto a la PPN informada en 2011 en zona semiárida, en un haplustol de la Estación Agropecuaria Bordenave, MBBCR tan solo sobrestimó en un 6,6%. Las diferencias observadas respecto al ambiente de

Balcarce, podrían estar explicadas por otro tipo de variables además de la precipitación como: condiciones edáficas (suelos halomórficos) y climáticas (régimen térmico) muy distintas a las de Bahía Blanca, donde se generó la información experimental para la ecuación de predicción. No obstante, la máxima distorsión fue menor al 15% y como en otros recursos forrajeros, las diferencias entre las medias predichas de varios ciclos respecto a las medias observadas, tienden a ser bajas respecto a las mayores diferencias observadas en algunos ciclos ocasionales. Este comportamiento denota la relevancia de la variable precipitación en la determinación de las PPN de los forrajes evaluados en numerosos ambientes, por sobre las demás variables edafoclimáticas. Las diferencias relativas entre las predicciones y los datos observados permiten una aceptable bondad de ajuste para la ecuación de Agropiro.

El efecto negativo del CCG sobre la PPN de Agropiro, al igual que en *S. tenuissima*, se vería explicado fundamentalmente por la disminución de la precipitación en la primavera, por ser su principal estación de crecimiento. Sin embargo, se observa una mayor resiliencia de esta especie, dado por la relativamente baja afectación de su PPN frente a la disminución de los niveles de lluvias primaverales. Este hecho se vería explicado por la alta tolerancia a estrés hídrico y capacidad de recuperación posterior a la rehidratación reportada en esta especie por numerosos trabajos (García *et al.*, 1992; García *et al.*, 2002, Gazanchian *et al.* (2007); Ruiz *et al.*, 2012).

T. ponticum es una gramínea C₃ perenne, originaria del sur de Europa y Asia menor, introducida y naturalizada en la provincia de Buenos Aires en la década del '50 (Bazzigalupi *et al.*, 2008). FAO (1997), menciona su excelente adaptación en zonas áridas y semiáridas de su zona de origen caracterizadas por precipitaciones bajas e impredecibles.

Es ampliamente conocido que el déficit en los contenidos relativos de agua en las plantas induce a una baja en el potencial osmótico, responsable de la turgencia de las células y de un bajo potencial hídrico de las hojas. El mantenimiento de la turgencia colabora con las plantas en mantener la apertura estomática, las tasas de fotosíntesis y una mayor absorción de agua del suelo, todos factores requeridos para el crecimiento de las plantas (Carter *et al.*, 1985; Schonfeld *et al.*, 1988; Matin *et al.*, 1989; Brown, 1995).

García *et al.* (2002) encontraron que las reducciones en el crecimiento de las hojas, de tres genotipos de Agropiro entre las plantas irrigadas y no irrigadas luego de 9 a 3 días fueron menores ($p < 0,05$) en *A. elongatum* (0,27 cm d⁻¹), en comparación con *A. scabrifolium* Selección Anguil (0,62 cm d⁻¹) y *A. scabrifolium* El Palmar INTA (0,76 cm d⁻¹). Estos resultados fueron consistentes con los observados en otras especies de Agropiro (Busso *et al.*, 1995) y en otras especies de alta tolerancia al stress hídrico (Brown, 1995). Además, si bien existió diferencia entre los tres genotipos estos niveles fueron muy bajos respecto al observado en otras especies de menor tolerancia (Clarke *et al.*, 1982; Carter *et al.*, 1985; Jefferson *et al.*, 1989). Este hecho demuestra la alta capacidad de tolerancia a la sequía de esta especie naturalizada (*A. elongatum*), incluso superior a otras especies del mismo género, pero nativas de Argentina como los dos genotipos de *A. scabrifolium*, evaluadas por García *et al.* (2002).

Los trabajos de Jones *et al.* (1978 y 1980), Quarrie *et al.* (1979), Kirkham *et al.* (1980), Clarke & McCraig (1982), Carter *et al.* (1985) Schonfeld *et al.* (1988), Matin *et al.* (1989), Sobrado (1986) han demostrado que las especies de mayor

tolerancia a la sequía presentan un menor déficit hídrico por unidad de disminución en el potencial hídrico de las hojas. Estos resultados son consistentes con los de García *et al.* (2002), donde encontraron en los genotipos de Agropiro, una baja relación entre el potencial osmótico de las hojas y los contenidos relativos de agua, las cuales fueron menores a las reportadas por los primeros autores para otras especies de menor tolerancia a la sequía. Este hecho señala que esta característica, sería un mecanismo muy importante en Agropiro para tolerar sequías periódicas. Respecto a estas relaciones hídricas, no se hallaron diferencias en los tres genotipos ($p > 0,05$) evaluados.

Brown (1995) menciona a la acumulación de cera cuticular como otro mecanismo importante para reducir las pérdidas de agua a través de la cutícula de las hojas cuando los estomas están cerrados. García *et al.* (2002) informaron que *A. elongatum* y *A. scabrifolium* Selección Anguil mantuvieron ($p < 0,05$), mayores niveles de turgencia, contenidos relativos de agua, potencial osmótico en las hojas, pero solo una tendencia a una mayor acumulación de cera epicuticular ($p > 0,05$). Estos mayores niveles encontrados en estos parámetros contribuirían a explicar las menores disminuciones en las tasa de crecimiento ante estrés hídrico de estos dos genotipos respecto a *A. scabrifolium* El Palmar INTA. No obstante, los incrementos en la producción de cera epicuticular en respuesta al stress hídrico, fue mayor comparada a las observadas en otras especies (Clarke *et al.*, 1982; Carter *et al.*, 1985; Jefferson *et al.*, 1989) y ha sido descrito como un mecanismo importante en otras especies de Agropiro por Jefferson *et al.*, (1989) y García *et al.*, (1992).

Otros autores (Westgate&Boyer, 1985; McCree, 1986; García Girou &Curvetto, 1988) encontraron tasas similares de declinación de los potenciales osmóticos y de la turgencia para otras especies que manifestaron una alta tolerancia al estrés hídrico, como los informados por García *et al.* (2002) para los tres genotipos de Agropiro.

Por otro lado, Cabuslay *et al.* (1999) y Pedrol *et al.* (2000) señalan que las plantas tolerantes a estrés hídrico presentan mecanismos complejos que les permite el mantenimiento de los contenidos de agua internos y la supervivencia a la reducción de agua en los tejidos por falta de oxígeno cuando se experimenta el cierre estomático, como así también la capacidad de una rápida recuperación a partir de la rehidratación. Numerosos estudios demuestran que esta adaptación fisiológica se encuentra asociada a la regulación de los contenidos de proteínas de inducción de la tolerancia en varias especies (Bray, 1997; Riccardi *et al.*, 1998; Kawasaki *et al.*, 2000; Salekdeh *et al.*, 2002a, b; Hajheidari *et al.*, 2005).

En el caso de *E. elongatum*, tal como reporta un estudio reciente de Gazanchian *et al.* (2007), la alta capacidad de tolerancia se encontraría asociada a mecanismos fisiológicos de acumulación de proteínas relacionadas al estrés hídrico como la *prolina*. La prolina es considerada un osmoprotector, que realizaría un rol muy importante en situaciones de estrés hídrico, protegiendo e induciendo la síntesis de otras proteínas de defensa a este tipo de estrés (Smirnoff, 1998; Okuma *et al.*, 2000; Khedr *et al.*, 2003). Gazanchian *et al.* (2007) encontraron que cuando plantas de Agropiro no irrigadas dispusieron de un 50% de capacidad de campo, la evapotranspiración de las mismas disminuyó al 10%, indicando una rápida oclusión estomática inicial para evitar pérdidas de agua. Las plantas disminuyeron su peso seco hasta un 67% respecto a las plantas bien irrigadas. Al alcanzar un 25% de capacidad de campo, los contenidos de agua de las plantas llegaron a niveles del

24% y la concentración de prolina se incrementó en 20 veces respecto a las plantas testigos bien irrigadas que mantenían un 85% de agua relativa. Cuando se rehidrataron las plantas, se observó a los 14 días, que el peso seco de las mismas y los niveles de prolina retornaron a los observados en las plantas bien irrigadas, señalando también la capacidad de esta especie relativamente rápida de recuperación de situaciones de sequía severas.

A partir de estos resultados, Gazanchian *et al.* (2007) sugieren que *E. elongatum* podría tolerar situaciones severas de estrés hídrico, a partir de la regulación de las concentraciones de prolina y otras enzimas de defensa a las reacciones de reducción del agua interna en los tejidos, que se manifiestan frente a la oclusión estomática (Mittler, 2002; Noctor *et al.*, 2002), mientras la recuperación a partir de la rehidratación funcionaría bajo otro mecanismo, no identificado en dicho estudio, pero no menos importante para tolerar la erraticidad en las precipitaciones en las regiones semiáridas.

Estos mecanismos fisiológicos y morfológicos combinados permitirían explicar la alta estabilidad de producción en la región de estudio observada de *T. ponticum* frente a la simulación de lluvias en PPa y PPc. En este sentido, los resultados hallados en el presente experimento y los atributos de tolerancia al estrés hídrico discutidos a partir de la literatura, posicionarían la utilización de este especie C₃ como muy relevante en los sistemas ganaderos en este tipo de regímenes semiáridos, que ameritan la continuidad de la línea de investigación de este recurso en estos ambientes.

3.3.4.3. Avena sativa cv Cristal.

Avena sativa cv Cristal manifestó diferencias ($p < 0,0001$) entre PPa y PPc (Fig. 38). En este primero, el rango de la PPN se situó entre 0 y 6007 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 1624 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, mientras en el segundo entre 0 y 6014 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 1233 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹.

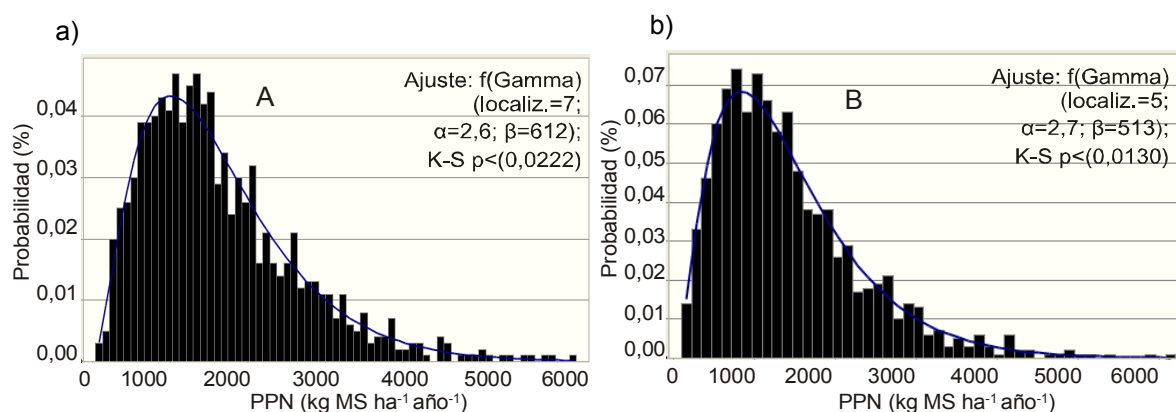


Figura 38. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada de *Avena sativa* cv Cristal en la región de estudio (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) PPa= Respuesta a la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) PPc= Respuesta a la distribución de precipitaciones esperada bajo efectos futuros de cambio climático global. Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

Tanto el verdeo de avena en PPa como en PPc expresaron su mejor ajuste a una función gamma, ($p < 0,0222$) y ($p < 0,0130$) respectivamente, lo cual evidenció un comportamiento sumamente asimétrico respecto a la cola con niveles superiores a la media (derecha). Es decir, los valores muy alejados por encima de la media, serían esperables en solo un muy bajo porcentaje de los ejercicios. Los CV fueron muy semejantes: 61% y 66% respectivamente.

Discusión

Se puede observar que este recurso forrajero experimentaría en PPc una disminución del 24,1% en su mediana, respecto a PPa ($p < 0,0001$). Al igual que en las dos especies perennes C_3 anteriores, la caída en la mediana de la productividad de este verdeo anual se vería explicada a partir de la disminución en la precipitación media en la estación de mayor crecimiento: la estación primaveral.

El análisis de la variabilidad de las FDP de ajuste a las distribuciones de frecuencias observadas demostraron que existiría un 32,1% y 40,1% de probabilidades de experimentar valores inferiores a $1000 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para PPa y PPc respectivamente. Para valores superiores a $2500 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, las probabilidades se sitúan en 14,6 y 9,2%. Esto indica que frente a los efectos esperados sobre la precipitación en CCG, se observaría un aumento del riesgo del 24,9% de presentar una PPN inferior a los $1000 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y una disminución de las probabilidades del 36,9% de superar los $2500 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

La eficiencia del uso del agua de lluvias sobre el ciclo del cultivo siguió la misma tendencia observada en las dos especies C_3 perennes, donde en PPc se observó una disminución del 28,5% ($p < 0,0001$), respecto a PPa (3,60 vs $2,57 \text{ Kg MS mm}^{-1}$).

En zonas semiáridas las restricciones hídricas son la principal responsable de la baja productividad de los verdeos invernales, seguidos en segunda instancia por otros factores como las bajas temperaturas, fertilidad de suelo, radiación incidente, plagas y enfermedades (Moreira, 1989; Droushiotis *et al.*, 1989; Carr *et al.* 2004; Lithourgidis, *et al.* 2006; Dhima *et al.*, 2007). Quiroga *et al.* (2001) señalan que la disponibilidad de agua determina el 70% de la variación de los rendimientos de este cultivo en la región pampeana semiárida.

Estos resultados coinciden con los expuestos por Martínez (2010) en un ensayo dentro del área de estudio (Cabildo), durante 2004 y 2005 de 14 genotipos de *A. sativa* doble propósito, en los cuales se incluyó el cultivar Cristal. Dicha autora encontró interacción entre genotipos y año ($p < 0,001$), confirmando una respuesta diferente de los genotipos según las características climáticas de cada año. La PPN acumulada de dicho cultivar en los cortes acumulados de las estaciones de otoño e invierno fue en 2004 de $2736 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y en 2005 de $1980 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. A partir de la precipitación de dichos ejercicios en la localidad de Cabildo, MBBCR predijo una PPN para el mismo periodo de crecimiento un 4,1% superior y un 26,9% inferior para cada año, respectivamente. Esta autora aduce que la menor PPN observada experimentalmente en 2005 respecto a 2004, se debería a una menor temperatura media registrada en dicho año y a una mayor cantidad de días con heladas que pudieron afectar el rendimiento. Este hecho, podría explicar la subestimación de MBBCR de la biomasa en 2005, ya que la modelación se basa exclusivamente en la variable precipitación estacional, sin tener en cuenta otro tipo

de variables adicionales, que podrían estar influyendo de manera importante en algunos ejercicios.

Si bien se resalta la estrecha relación existente entre la disponibilidad hídrica y la producción de biomasa de los verdes de invierno (Moreira, 1989; Droushiotis *et al.*, 1989; Quiroga *et al.* 2001; Carr *et al.* 2004; Lithourgidis, *et al.* 2006; Dhima *et al.*, 2007), la inclusión de otros factores ambientales relacionados al rendimientos como temperatura, número de días con heladas, fertilidad, etc, en estudios futuros, se considera de suma importancia para mejorar la modelación del rendimiento de los cultivos forrajeros invernales en la región. No obstante, la PPN media de ambos ciclos de crecimiento fue de 2358 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, donde la media de las predicciones de MBBCR para dicho bienio fue de 2148 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ mostrando un ajuste muy razonable del modelo (-8,9%) a estos datos experimentales en dicha localidad. Los resultados predichos por el modelo también fueron muy cercanos a los reportados por Majul *et al.* (2008) en un ensayo de *A. sativa* en los ciclos subsiguientes 2006 y 2007 en las proximidades de Cabildo y Paso Mayor. En 2006 MBBCR sobreestimó la PPN en un 11,4%, mientras en 2007 la subestimó en un 7%.

La producción de biomasa media de avena observada en la región de estudio en PPa (1723 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹), difiere con los resultados de otros autores en otras regiones de distintos regimenes pluviométricos como las reportadas por Maloney *et al.* (1999) en Marshfield al norte de USA, Francia *et al.* (2006) en un ambiente mediterráneo de Italia y Contrás-Govea *et al.* (2006) en Witcosin, USA. Dichos autores reportan valores medios en todo el ciclo de crecimiento de 2800, 3500 y 6700 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Esto permite deducir que la productividad del cultivar de avena de mayor utilización y evaluado en la región es relativamente baja.

La importancia de recursos forrajeros de alto crecimiento otoño-invierno-primaveral y de alta calidad como los verdes de invierno anuales, radica en que los mismos permiten llevar adelante procesos de invernada con base pastoril (Elizalde 1990; Horn *et al.*, 1995; Caton *et al.*, 1997; Juan *et al.*, 1998; Dixon *et al.*, 1999; Abdelhadi *et al.*, 2005).

La distribución de frecuencias observada en la PPN de este recurso a partir de la variabilidad climática zonal en ambos contextos (PPa y PPc) permite identificar algunas implicancias directas sobre los sistemas de producción. Se puede inferir el alto riesgo de llevar adelante procesos de recría e invernada de manera fija, ya que las probabilidades de alcanzar altos niveles de PPN de este verdeo se encuentran limitados por la baja respuesta a la distribución característica de las lluvias zonales. Se observa una gran probabilidad de ciclos (85,4% y 90,8%, respectivamente para PPa y PPc) donde este recurso presenta una PPN baja (<2500 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹), que derivaría en grandes dificultades para realizar una invernada pastoril eficiente de manera regular entre años. Por un lado, este hecho influiría negativamente sobre la cantidad de machos factibles de retener para engordar, que en la mayor proporción de los años sería un número bajo. Pero también sobre el comportamiento ingestivo de aquellos animales que se retengan. Bodine *et al.* (2000), Bodine *et al.* (2001), Ferri *et al.* (2001), Coleman *et al.* (2003) y CSIRO (2007) señalan que en situaciones de baja disponibilidad de forraje, las GDP de los animales decrecen, debido a que una baja asignación de forraje disminuye el consumo de los animales respecto al potencial. La cantidad de forraje disponible influye sobre el tamaño y cantidad de bocados por unidad de tiempo, incrementando los costos energéticos de

mantenimiento de los animales a pastoreo y disminuyendo la ingesta potencial de energía (Baumont *et al.*, 2000). CSIRO (2007) señala que la ingesta potencial de vacunos requiere de una disponibilidad de 3000 Kg MS ha⁻¹ mientras NRC (1987) estipula 2250 Kg MS ha⁻¹.

En el caso de MBBCR, las ecuaciones de CSIRO (2007) utilizadas en la subrutina consumo animal permitieron incluir en este modelo el efecto de la disponibilidad de Avena sobre el consumo real y la posterior GDP de los animales.

No obstante, en los años donde la productividad de los verdeos de invierno fuera muy alta, se podría incrementar la PCN a partir de la retención de machos para engorde. En este sentido, los resultados hallados demuestran que sería más razonable utilizar la recría e invernada como herramienta de manejo para otorgar flexibilidad al sistema, a través de la adecuación de la carga animal a la variación de la oferta forrajera disponible anualmente. Este hecho sugeriría que la adopción de sistemas predominantemente de cría, que permiten la utilización de una mayor proporción de FBC en su dieta provenientes de forrajeras perennes de mayor estabilidad, integrados a la utilización de estrategias de recría invernada como herramienta de manejo flexible, se presentarían como configuraciones tecnológicas de menor riesgo productivo.

Por otro lado, tal como demuestran los trabajos de Osoro *et al.* (1989), Azardaún *et al.* (1996), Elizalde *et al.*, (1994 y 1996), Dixon *et al.* (1999), García *et al.* (2000) y Hersom (2008) el engorde de animales en condiciones de pastoreo exclusivo de verdeos, también presenta una elevada variabilidad en la respuesta animal, debido a la variación de la calidad nutricional de los verdeos a lo largo del ciclo productivo. No obstante, esta invernada se puede realizar con un alto grado de eficiencia y minimizar esta variabilidad como proponen Pavan *et al.* (1998), Arelovich (2003 y 2004), Cole *et al.* (2008) y Hall (2008) mediante el balance de las dietas a través de adecuados programas de suplementación estratégica. Estos trabajos resaltan la importancia de un manejo nutricional eficiente para alcanzar altos niveles de producción en sistemas de engorde pastoril.

En función de los datos de Martínez (2010) dentro de la región de estudio, donde cv Cristal resultó ser uno de los genotipos de menor PPN en 2005 y de los de relativamente baja producción en 2004, se infiere que la utilización de los nuevos genotipos de verdeos de avena como los reportados por esta autora, de mayor producción y estabilidad en los dos ciclos de estudio (cv: Bw13, Milagros, Payé, Pilar, Polaris y Tucana) permitiría un incremento de la producción de forraje y seguridad de la actividad de engorde en esta región. Este hecho sugiere la importancia de líneas de investigación futuras del impacto de la adopción de nuevos cultivares de avena, sobre los niveles de producción de los sistemas regionales donde previo a llevarlo a la práctica, sería económicamente muy importante, la realización de experimentos con modelación como MBBCR, a partir de la calibración experimental previa de la respuesta de los genotipos más prominentes frente a la precipitación local.

Contras-Govea *et al.* (2006) cuantificaron una reducción de 1000 Kg MS ha⁻¹ del rendimiento de verdeos de *A. sativa* ($p < 0,05$), a los 77 días luego de la implantación utilizando dos fechas de siembra. Maloney *et al.* (1999) observaron caídas significativas de los rendimientos con siembras tardías de los verdeos de avena de 0,3 y 1,8 Kg MS ha⁻¹ en 1992 y 1993, respectivamente. Estos resultados concuerdan también, con los encontrados por Coblentz *et al.* (2011 y 2012) sobre los

rendimientos y calidad de forraje en siembras tardías. Este hecho, permite deducir que la modelación también sería una herramienta muy versátil para evaluar en términos estocásticos, el efecto de distintas prácticas de manejo de los verdes combinadas como fecha de siembra, y otras prácticas como fertilización, modo de pastoreo, etc.

En la medida que se contara con cultivares de mayor productividad y estabilidad y se optimizaran las prácticas de manejo de los mismos, para obtener altos niveles de producción de forraje, se podría alcanzar una mayor proporción de años con recría e invernada eficiente de animales propios, permitiendo incrementar la PCN y el MB de los sistemas regionales.

3.3.4.4. *Eragrostis curvula* (Schrud) Nees cv. Tanganyika.

Se detectaron diferencias ($p < 0,0001$) en la PPN del pasto llorón entre PPa y PPc (Fig. 39).

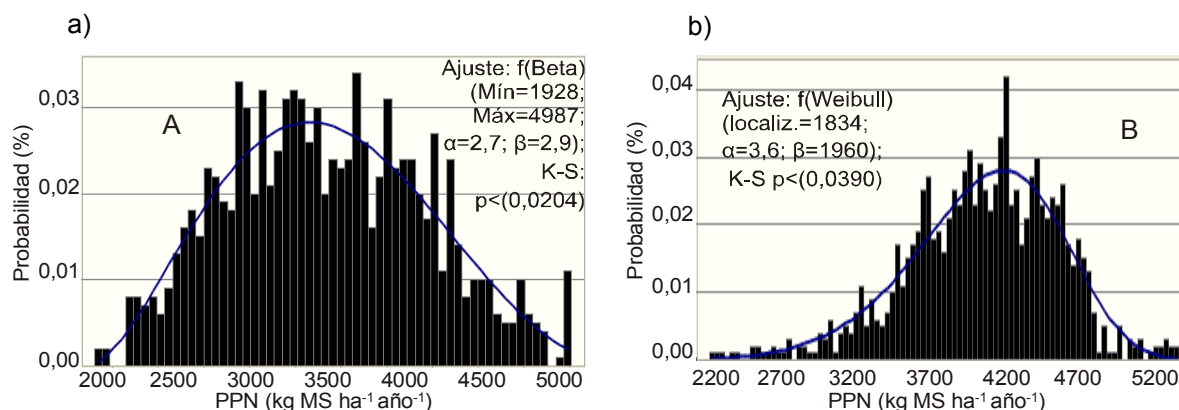


Figura 39. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada de *Eragrostis curvula* (Schrud) Nees cv. Tanganyika en la región de estudio (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) PPa= Respuesta a la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) PPc= Respuesta a la distribución de precipitaciones esperada bajo efectos futuros de cambio climático global. Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

En PPa, la FDP de mayor ajuste por K-S a la distribución observada del pasto llorón fue una función beta ($p < 0,0204$) que osciló entre 1928 y 4987 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 3405 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹. En PPc, la función seleccionada fue una Weibull ($p < 0,0390$) con PPN entre 2172 y 5374 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ y una mediana de 3991 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹.

Discusión

Estos resultados exponen que esta especie de tipo C₄, a diferencia del comportamiento observado en las dos especies C₃ perennes evaluadas anteriormente, vería incrementada la mediana de su PPN ($p < 0,0001$) en PPc (+16,6%). Este hecho, sería atribuible al cambio de la distribución estacional de la

precipitación esperada en dicho contexto, a partir del incremento de las lluvias en verano y otoño en la región (Fig. 23). Este aumento de la PPN en verano y otoño generaría un aumento de la PPN total anual de *E. curvula* más que proporcional a la potencial reducción en la PPN primaveral por una disminución en la precipitación media de esta estación. Esto sería lógico, ya que la respuesta de la PPN frente a incrementos en las precipitaciones estivales y otoñales siguió un patrón exponencial (Fig. 24 y 25, respectivamente). Mientras la PPN primaveral (Fig. 27) ajustó mejor a un modelo polinómico de segundo orden, el cual por debajo de los 114 mm (1606 Kg MS ha⁻¹) presentó un comportamiento de disminución de la PPN con tasa decreciente, alcanzando a los 108 mm un valor crítico (Δ PPN/ Δ precipitación <0,01), donde la PPN tendió a permanecer constante hasta el final del rango estudiado (96 mm en el año 2009).

E. curvula fue la especie perenne de mayor eficiencia en el uso del agua de lluvias en su ciclo de crecimiento con 9,07 y 7,64 Kg MS mm⁻¹ para PPa y PPc, respectivamente ($p < 0,0001$). No obstante, la pérdida observada de un 15,1% en dicha eficiencia en PPc, se debería a un aumento en la PPN menor (16,6%) a la de la precipitación media en el ciclo de crecimiento (38,1%), relacionado a los aspectos antes mencionados.

Las FDP determinadas para las frecuencias de ocurrencia observadas en la PPN de *E. curvula*, permite definir que la probabilidad de experimentar una PPN inferior a 3000 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ y superior a 4000 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ fue en PPa del 23,9 y 27,8 % respectivamente, mientras en PPc del 4,7 y 45%.

Los resultados hallados coinciden con los encontrados por Gargano *et al.*, (2001a y 2001b). En ambos experimentos conducidos en Bahía Blanca durante 1995 a 1999 y 1999 a 2001, estos autores reportan interacción entre la PPN de *Eragrostis curvula* cv. Tanganyika y los años climáticos ($p < 0,05$ y $p < 0,01$, respectivamente). Esto demuestra el comportamiento diferencial de la PPN interanual de este recurso a partir de la variabilidad climática de la región. En este último trabajo, dicho efecto fue un 65% superior en 1999-2000 a partir de 480,5 mm acumulados en las estaciones de crecimiento (SON-DEF-MAM) respecto a 2000-2001 con 363,5 mm en la misma estación de crecimiento.

La PPN de pasto llorón predicha por MBBCR, a partir de la distribución de precipitación de los ciclos de estos ensayo, arrojó estimaciones en la mayor proporción de los casos, muy próximas a los datos de PPN reportados por estos autores. La sobreestimación máxima del modelo (+45%) fue para el ciclo 1995-1996 y la subestimación mínima fue (-23%) en 1998-99. La alta sobreestimación en 1995/96 se podría deber a que la PPN real observada posiblemente fue baja debido que en dicho ejercicio las parcelas experimentales estaban en su primer año de implantación, donde las plantas no habían alcanzado aún su desarrollo máximo. Diversos autores señalan la relativa menor productividad de las forrajeras perennes en su ciclo de implantación debido a este motivo (Colom&Vazzana, 2001 y 2003; Ferri *et al.*, 2006; Gargano *et al.*, 2006; Voight, 2004; Stritzler *et al.*, 2007) mientras el modelo realiza predicciones de biomasa de pasturas ya implantadas, puesto que las ecuaciones de esta especie fueron generadas a partir de los muestreos de las parcelas cuando las plantas ya estaban desarrolladas (posterior al año de implantación). En el resto de los ciclos las diferencias entre los valores predichos y observados fueron muy bajas (<15%). No obstante, la media de la PPN observada

de los 6 ejercicios evaluados por Gargano *et al.* (2001a y b), respecto a la media de los valores predichos por MBBCR solo difirió en un 0,4%.

Estos resultados corroboran un alto grado de certeza del modelo sobre las predicciones de productividad de este recurso. No obstante, las menores diferencias observadas en algunos años podrían estar explicadas, debido a que el modelo realiza estimaciones de la PPN en función de la precipitación acumulada estacionalmente. Estas predicciones podrían ser mejoradas en futuros trabajos a través de experimentos de campo y el desarrollo de modelos sobre la base de mediciones de la precipitación y PPN de manera mensual. Asimismo, existirían otras variables que podrían explicar parte de esta variación como el hecho de que el modelo empírico fue desarrollado a partir de ensayos a 40 km al norte respecto de los ensayos de Gargano *et al.*, (2001a y b), con otra profundidad de suelo, textura y fertilidad que podrían influir sobre la capacidad de retención del agua de lluvias y la eficiencia de utilización de las mismas entre otras.

Los CV determinados fueron en PPa del 17,3% y en PPc del 12,6%, denotando una ganancia de estabilidad relativa en este último contexto.

La alta producción de biomasa y estabilidad observada en esta especie estaría relacionada a numerosos factores. Por un lado, *E. curvula* es una especie de anatomía C₄ (Voight *et al.*, 2004) con una mayor eficiencia de fotosíntesis frente a altas temperaturas y precipitaciones erráticas. Sus características más sobresalientes son su elevada rusticidad, su tolerancia al frío, su capacidad para prosperar en suelos de baja fertilidad y baja capacidad de retención de agua como los de la zona de estudio. En su región originaria en África del Sur, es considerada una especie pionera y excepcional (Rethman 1987 y Rethman *et al.*, 1997). En Australia se la considera muy tolerante a condiciones adversas de semiaridez y que soporta bien la presión de pastoreo (Lazarides, 1997). Asimismo, la tolerancia de temperaturas mínimas de hasta -15°C y máximas de hasta 45°C, permite su adaptación a una gran región de zonas templadas con veranos muy cálidos e inviernos crudos.

Los estudios de Colom&Vazzana (2001 y 2003) señalan que *E. curvula* presenta características extraordinarias en cuanto a su tolerancia al estrés hídrico respecto a otras especies. Dichos autores, resaltan la alta estabilidad observada en varios cultivares de esta especie en las siguientes variables: el potencial de agua, la conductancia estomática, las tasas de fotosíntesis y los contenidos foliares de pigmentos cuando fueron expuestas a estrés hídrico. Asimismo, Carcellar (1980), Poverene *et al.* (1997) y Polci, (2000) destacan que la cubierta altamente cerosa sería otro mecanismo importante responsable de su resistencia a la sequía.

Ruiz *et al.* (2008), reportaron que *E. curvula* manifestó la PPN más alta ($p < 0,05$), en situaciones de estrés hídrico respecto a otras especies C₄ como *Tetrachne degrei* y *Panicum coloratum*, en un ensayo comparativo de rendimiento en la Universidad Nacional de La Pampa durante 4 ciclos consecutivos (2002-2005). Dichos autores mencionan además que *E. curvula* exhibió las menores diferencias entre un tratamiento control y un tratamiento de estrés hídrico respecto a las dos especies mencionadas, donde el potencial de agua y la resistencia estomática mostraron diferencias ($p < 0,05$), entre ambos tratamientos recién luego de 65 días posteriores al corte de suministro de agua, lo cual ocurrió 41 días después que las otras dos especies. Los síntomas de marchitamiento se observaron recién entre 93 y

106 días posteriores a la suspensión del riego, cuando en *P. coloratum* fue entre los 57 a 66 días.

Estudios más antiguos, como el de Sánchez (1985) y Sánchez *et al.* (1991), encontraron que *E. curvula* cv. Tanganyka presentó, frente a distintos niveles de estrés hídrico en periodos consecutivos, una disminución del rendimiento del 70% y 33%, cuando la diferencia de potencial de agua del suelo a los 15 cm entre parcelas regadas y no regadas fue de 4,9 y 1 bares, respectivamente. Esto indicaría, que si bien los periodos de déficit hídrico afectan la producción de biomasa potencial, cambios substanciales del potencial de agua del suelo, debido a la ocurrencia de lluvias, luego de un periodo de sequía, permitiría una rápida recomposición del crecimiento. Estos autores observaron además que la relación entre la biomasa aérea y subterránea disminuyó (de 1,07 a 0,78) en el tratamiento de estrés hídrico lo cual concuerda con resultados más antiguos hallados en otras especies, donde el estrés de agua modifica el patrón de distribución de fotoasimilados en la planta con preferencia hacia las raíces (Malik *et al.*, 1979; Sharp *et al.*, 1979). Este mecanismo adaptativo respondería a la posibilidad de las plantas de explorar nuevos volúmenes de suelo y obtener agua con mayor efectividad frente a situaciones de sequía.

Al igual que un trabajo anterior de Boo *et al.* (1983), la mayor concentración de carbohidratos disponibles en el tratamiento de estrés fue superior a las del tratamiento control ($p < 0,05$). La misma se localizó en la base de los macollos (46%), considerado el principal reservorio de los mismos con destino al rebrote de la parte aérea al reestablecer niveles adecuados de agua en el suelo. No obstante, si bien la cantidad relativa de carbohidratos fue menor en la raíz, respecto a la base de macollos, en el tratamiento de estrés la acumulación de carbohidratos en raíz, fue casi tres veces superior a la del tratamiento control ($p < 0,05$), corroborando la importancia del crecimiento de la biomasa radical en situaciones de estrés hídrico.

Otra característica fundamental en la capacidad de adaptación a la sequía, es su extenso sistema radical que puede llegar a explorar profundidades de suelos mayores a los 4 metros y la alta capacidad de las raíces superficiales para el aprovechamiento de precipitaciones superficiales (Shoop *et al.*, 1970; Fagioli 1980).

La vía fotosintética C_4 utilizada por esta especie, contribuiría a explicar los altos niveles de producción y estabilidad observados en la FDP de *E. curvula* en la región de estudio. Asimismo, resultaría una característica muy importante en su adaptación a las condiciones de CCG proyectadas.

Sage, (2004) resalta que frente a altas temperaturas y bajas concentraciones de CO_2 experimentadas en los periodos primavera-estivo-otoñales en regiones templadas, subtropicales y tropicales, la enzima rubisco, en la fotosíntesis C_3 falla en la distinción del CO_2 del O_2 . Este proceso de absorción de O_2 durante la fotosíntesis, conduce a la fotorrespiración en las plantas C_3 , que resulta en una pérdida neta de $\leq 40\%$ de carbono fotosintético. La fotosíntesis C_4 suprime la fotorrespiración a través de la concentración de CO_2 internamente en las plantas, pero trae aparejado un costo energético extra, que es sustentado mediante el uso de un ciclo bioquímico, a partir de la energía solar (Ehleringer, 1978; Ehleringer *et al.*, 1991). La vía C_4 , al saturar a la enzima rubisco con CO_2 , permite lograr su máximo catalítico, incluso ante altas intensidades de luz, como las observadas en la región de estudio en el periodo primavera-estivo-otoñal, evidenciando en las especies C_4 tasas de saturación lumínicas con umbrales muy altos que se adaptarían a estas condiciones ambientales (Long *et al.*, 1999). A la inversa, frente a bajas temperaturas y mayores

concentraciones de CO₂ las pérdidas por fotorrespiración en las especies C₃ disminuyen. A partir de cierto valor crítico de estas variables ambientales, el costo energético extra de la vía C₄ pasa a ser mayor que estas pérdidas, otorgando una mayor eficiencia fotosintética a la vía C₃.

En este sentido, en una revisión científica reciente de los orígenes y evolución de las praderas de pastos C₄, Edwards *et al.*, (2010) exponen que el avance de las gramíneas C₄ no fue casual, si no que responden a patrones tendientes a una mayor adaptación de las plantas a cambios substanciales en las condiciones ambientales. En este sentido, estas especies mostraron un incremento substancial en su abundancia hasta alcanzar la dominancia en las praderas de las principales regiones templadas y tropicales del mundo hace entre 3 a 8 millones de años. Estos autores mencionan que la importancia de este fenómeno se presenta como uno de los mejores ejemplos de evolución de los biomas a nivel planetario y en escala geológica.

Sage (2004), señala que el mecanismo de fotosíntesis C₃ es más ancestral y que evolucionó en un contexto de altas concentraciones atmosféricas de CO₂ (>1500 ppm), hace 2800 millones de años. Mientras que las reducciones de CO₂ atmosféricas progresivas, a partir de la evolución de la fijación fotosintética hasta niveles inferiores a los 500 ppm hace 30 millones de año, disminuyeron la eficiencia de captura de carbono en las C₃, especialmente en zonas de altas temperaturas y regímenes con deficiencias de agua periódicos marcados como la región de estudio. Frente a estas condiciones Ding *et al.* (2000), exponen que la emergencia de ecosistemas dominados por C₄ transformaron la biosfera en esos ambientes, incrementando marcadamente la producción de biomasa respecto a los niveles previos. Sage, (2004) menciona que este tipo de especies solo comprenden un 3% de las especies dentro de las plantas vasculares. No obstante, Still *et al.* (2003), cuantifican que las mismas contribuyen con el 25% de la fotosíntesis terrestre, ilustrando su relevancia a nivel planetario. Heckathorn *et al.*, (1999) mencionan que un 60% de las especies C₄ son pastos que dominan las praderas y savanas de las principales zonas tropicales y templadas del mundo, donde sus altas tasas de producción de forraje sustentan los mayores niveles de consumo herbívoro del planeta.

Cerling *et al.*, (1997) a través de un estudio de isótopos estables de carbono visualizaron que la expansión de las especies de praderas C₄, en detrimento de las especies C₃, cobró mayor importancia durante el mioceno tardío y el pleistoceno hace entre 3 a 8 millones de años. Específicamente, información registrada en Norte América, Siwaliks (Los bosques del Himalaya de Pakistán), Argentina y Kenya, muestran que algunos mamíferos comenzaron a alimentarse principalmente de especies C₄ más de 1 millón de años antes que estas especies comenzaron a ser las más abundantes (>50%) de estos ecosistemas (Keeley *et al.*, 2003). Estos resultados coinciden con los reportados por Ding *et al.*, (2000) en China. La rápida adopción de las C₄ por estos herbívoros, ha permitido posiblemente la emergencia de especies animales especialistas en el pastoreo de este tipo de especies y posiblemente esto contribuyó a su expansión a expensas de las C₃. A nivel del Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, las investigaciones de Torres (2011) que se comentan posteriormente, introducen evidencias de la alta adaptación observada frente a la defoliación zonal en especies de C₄ nativas y naturalizadas como *E. curvula*.

Si bien la herbivoría se asocia tradicionalmente a efectos negativos sobre la productividad de las plantas consumidas. En los últimos años, varios autores (Hilbert *et al.*, 1981; Belsky, 1986; Verkaar, 1988; Hayashi *et al.*, 2007) señalan la existencia de ciertos efectos positivos sobre las plantas individuales, comunidades y ecosistemas. Donde el pastoreo bajo ciertas condiciones, puede incrementar la productividad, longevidad y la reproducción potencial que derivan en un mayor ajuste al ecosistema de la especie consumida (McNaughton, 1983; Belsky, 1992; Vogel *et al.*, 2001; Hayashi *et al.*, 2007).

E. curvula ha sido caracterizada como una especie que prospera bajo precipitaciones erráticas, reducidas y altas presiones de pastoreo (Lazarides, 1997; Voight, 2004; Stritzler *et al.*, 2007). No obstante, tal como se observa en los resultados hallados en esta tesis, frente a la simulación del rango completo de precipitaciones estacionales de la zona de estudio, su nivel de PPN anual, se encuentra condicionado ($p < 0,0001$), por la precipitación efectivamente acontecida (Sánchez *et al.*, 1991; Gargano *et al.*, 2001 a) y b); Ruiz *et al.*, 2008).

Los resultados expuestos por Edwards *et al.* (2010) sobre la biología evolutiva de las praderas C_4 , permiten observar un patrón natural, a escala geológica y planetaria, de la evolución vegetal y la dominancia de especies con mecanismos fotosintéticos C_4 , en ambientes que manifiestan incrementos de las temperaturas y la frecuencia de ocurrencia de episodios de sequía, como la región de estudio. Asimismo, proporcionan una base científica en la que se evalúa la importancia relativa de la fotosíntesis C_4 , en la transformación de dichos ecosistemas y sistemas de pastizales en grandes territorios del mundo, que debería ser tenida en cuenta también en futuros estudios dentro de la zona de estudio.

Estudios como los de Sitch *et al.*, (2008) señalan que este tipo de estudios y fundamentos evolutivos, también permitirían sustentar las previsiones de los futuros impactos del CCG en el equilibrio de especies C_3 - C_4 en la Tierra. Por ejemplo, a través de la utilización de metodología semejante a la utilizada en este trabajo de tesis, pero para un estudio de escala planetaria, Ahlström *et al.* (2012a) investigaron los patrones espacio temporal de cambio de la vegetación hasta 2100, resultantes de forzar un modelo de dinámica de la vegetación global a partir de salidas de 18 modelos climáticos del ensamble CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5). Estos autores determinaron distintos escenarios de variación de la vegetación, de la PPN, de los balances de CO_2 atmosférico y sus efectos de retroalimentación sobre el clima y el CCG.

Tal como demuestran otros estudios similares (Cramer *et al.*, 2001; Purves *et al.*, 2008; Cox *et al.* 2000; Norby *et al.*, 2005; Arneeth *et al.*, 2010; Fisher *et al.*, 2010; Capper *et al.*, 2012; Dono *et al.*, 2013), los estudios de hipótesis de prospectiva de las relaciones climáticas, de la vegetación y/o de la producción agropecuaria a través de metodología del anidado de modelos respectivos, ha cobrado una substancial importancia en las décadas recientes, para avanzar en el conocimiento de los fundamentos, modo de acción e impactos de distintos eventos futuros, con una perspectiva científica (Piao *et al.*, 2008; Ahlström *et al.* 2012b).

Los resultados hallados y la literatura comentada, permite inferir que frente al fenómeno de CCG las especies C_4 , especialmente en regiones como la de estudio, donde se observa una tendencia a manifestar temporadas de altas temperaturas y sequía propenderían a ocupar un rol fundamental en la producción de biomasa (, Sitch *et al.*, 2008,) y fijación de CO_2 (Long *et al.*, 1999; Sitch *et al.* 2003; Still *et al.*,

2003), tanto a nivel de los sistemas de pastizales naturales como en los sistemas de producción diseñados por el hombre.

La utilización de especies C₄ perennes en este contexto de cambio climático, seguramente será una alternativa de mejora de la oferta forrajera en los sistemas pastoriles en una vasta extensión de superficie de la región semiárida Argentina.

A nivel regional se destaca un estudio reciente y original de Torres (2011) de evaluación de la capacidad productiva de gramíneas perennes primavera-estivales nativas (*Pappophorum vaginatum*, *Aristida subulata*, *A. Speghazzinii* y *Sporobolus cryptandrus*), naturalizadas (*E. curvula*) e introducidas desde USA (*Leymus cinereus* cv. "Magnar" y "Trailhead" y *Achnatherum hymenoides* cv "Paloma, "Rimrock" y "Nezpar") en el sur del Partido de Patagones (Pcia. Bs. As.). En el mismo se reporta que todas las especies C₄ más allá de su origen, presentaron una alta tolerancia a la defoliación ($p < 0,05$). Asimismo, los cultivares introducidos demostraron una producción de biomasa similar o superior ($p < 0,05$) a los genotipos nativos y al naturalizado, lo cual denota que su utilización en los sistemas de producción podría llegar a conferir mejoras adicionales en la PPN de los mismos. Este hecho, estaría indicando que la investigación científica en la adaptación y utilización de especies C₄ nativas e introducidas en los sistemas de producción regionales presenta una amplia brecha, a continuar desarrollando.

Gargano *et al.* (2006) encontraron resultados semejantes en ensayos comparativos de redimiendo en 2001/02 y 2002/03 en la región de estudio, entre *E. curvula* cv. Tanganyka y otras especies C₄ introducidas como *Digitaria eriantha* cv. Irene y *Antheophora pubescens* cv. Wollie. Las medias de producción de biomasa para ambos ciclos fueron respectivamente: 2210, 1772 y 3720 Kg MS ha⁻¹, ($p < 0,05$). En un ensayo posterior durante los años 2004 y 2005 con *Panicum coloratum* cv. Verde se informó un rendimiento medio para ambos ciclos de 2583 Kg MS ha⁻¹ (Gargano *et al.* 2007).

La literatura hasta la actualidad, indica que *E. curvula* manifestaría la mejor adaptación en esta tipo de ambientes semiáridos dentro de la región Pampeana Argentina (Echenique & Curvetto, 1986; Rabotnicof *et al.*, 1986; Stritzler, 1996; Colom & Vazzana, 2001 y 2003; Ruiz *et al.*, 2008). Resultados similares fueron reportados por otros autores en ambientes semejantes de Sudáfrica (Rethman, 1987 y Rethman *et al.*, 1997). Sin embargo, la literatura también postula que otras especies C₄ alternativas a *E. curvula* han demostrado características diferenciales en cuanto a la distribución de los picos de crecimiento y la calidad de forraje verde, y diferido, que las posicionan como opciones complementarias (Voight *et al.*, 1981; Stritzler *et al.* 1996; Gargano *et al.*, 1997a; 1997 b; 2001b; 2003; 2006; Ferri *et al.*, 2006).

La alta tasa de respuesta a la fertilización nitrogenada en este tipo de especies posiciona a esta tecnología como muy importante, ya que permitiría incrementar la PPN y parámetros nutricionales como la DMS y PB, y por lo tanto estas diferencias deberían tener un efecto significativo sobre la producción animal. (Grunow & Rabie, 1985; Snyman 1994; Veneciano *et al.*, 1997; Sanderson *et al.*, 1999; Gargano *et al.*, 1997b, 2001), 2001b), 2006 y 2007).

Teniendo en cuenta la discusión anterior, se identifica para líneas de investigación futuras, la necesidad de desarrollo de modelos bioeconómicos como MBBCR aplicado a los sistemas de producción ganaderos regionales, que

permitieran estudiar el impacto sobre el riesgo de la adopción de especies complementarias a *E. curvula*, que podrían ser evaluadas a nivel de parcelas experimentales en primera instancia.

Así también, la utilización de distintas estrategias de fertilización teniendo en cuenta combinaciones de aspectos tales como época, dosis, momento de utilización por los animales, contribuirían con indicios relevantes para la orientación de los sistemas de producción reales y ensayos experimentales complejos.

3.3.4.5. Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701.

En la Figura 40 se presentan las FDP determinadas para el Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701. Se encontraron diferencias ($p < 0,0001$) entre la mediana de ambos tratamientos por K-W. La PPN del sorgo en PPa mostró una variación entre 648 y 14679 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 4123 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹. Mientras en PPc fue entre 1023 y 17890 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 5373 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹. Ambas distribuciones obtuvieron su mayor bondad de ajuste a una función gamma ($p < 0,0158$) y ($p < 0,0240$), respectivamente.

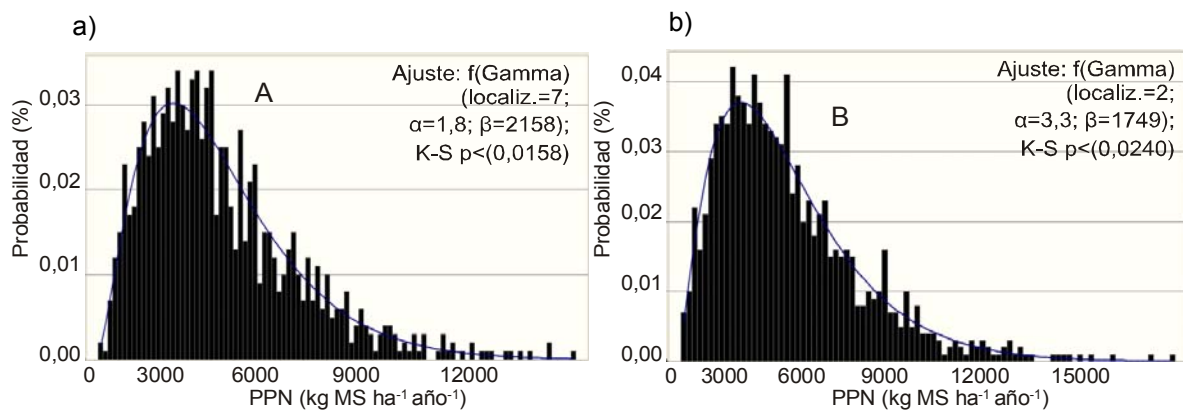


Figura 40. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada de Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701 en la región de estudio ($n=5000$). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de K-S y parámetros constitutivos de la función. a) PPa= Respuesta a la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) PPc= Respuesta a la distribución de precipitaciones esperada bajo efectos futuros de cambio climático global. Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

Discusión

La variabilidad observada del comportamiento de la PPN en las FDP determinadas permite señalar que en PPa existiría un nivel de riesgo del 11,4% de alcanzar una PPN menor a 2000 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ y del 5,3 % en PPc. Mientras las probabilidades de alcanzar un rendimiento superior a 10000 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, sería del 9,7% y 18,8% respectivamente. El CV en PPa fue del 70,1% mientras en PPc del 58%.

Esto significa que el cambio esperado en la precipitación generaría un incremento del 30,3% en la mediana de la PPN del sorgo en PPc ($p < 0,0001$), además de menores niveles de riesgo en la PPN frente a todo el rango de precipitaciones esperado y una mayor estabilidad productiva relativa dada por un reducción del 17,3% del CV.

El sorgo forrajero cv. VDH701 fue el cultivo forrajero de mayor PPN mediana ($p < 0,0001$) en PPa y en PPc, incluso superior a la de la especie *C₄* perenne: *E. curvula* (3405 y 3991 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente). No obstante, este primer cultivo presentó una marcada menor estabilidad productiva, respecto al pasto llorón (CV: 17,3% y 12,6% respectivamente). Este hecho sería atribuible a que al ser el sorgo una especie anual, dependería de una mayor seguridad de lluvias al momento de siembra para iniciar una germinación homogénea y asegurar la supervivencia de los primeros estadios de las plántulas, mientras *E. curvula* al ser una especie perenne, no presentaría el alto riesgo de implantación año tras año.

El Sorgo fue consecuentemente, el recurso forrajero de mayor eficiencia en el uso del agua de lluvias en su ciclo de crecimiento con 11,7 y 10,3 Kg MS mm⁻¹ para PPa y PPc respectivamente ($p < 0,0001$), exponiendo un incremento de dicha eficiencia media de 29,8% y 34,6% frente al pasto llorón en PPa y PPc respectivamente. No obstante, la menor estabilidad relativa en el rendimiento del sorgo respecto al pasto llorón, permite inferir que existirían una serie de años puntuales, donde el rendimiento de este último sería mayor que el primero y por lo tanto la eficiencia en el uso del agua en ese ciclo sería más favorable para *E. Curvula*.

La pérdida de un 12% en la eficiencia del uso del agua del sorgo en PPc, se debería a un aumento en la PPN menos que proporcional (30,3%), al de la precipitación media en el ciclo de crecimiento (38,1%).

Los ensayos de rendimiento del sorgo cv VDH 701 más cercanos a la zona de estudio que encontramos en la bibliografía, fueron los realizados en la Estación Experimental Bordenave durante las campañas 2006-07, 2007-08, 2008-09 y 2009-10 de la Red Regional de Evaluación de Cultivares de Sorgo del INTA (Zamora *et al.* 2007; Bolletta *et al.*, 2010). Las diferencias de la PPN predicha por MBBCR respecto a la observada en dichos trabajos experimentales fue del 5,5%; -9,9%; -4,4% y -29,8% respectivamente para cada ciclo.

La alta variación observada en el último ciclo podría estar explicada por un año de precipitaciones muy elevadas en la cual el rendimiento en el INTA Bordenave (24370 Kg MS ha⁻¹) estuvo muy por encima de los rendimientos históricos máximos de sorgo observado en los ensayos de Bahía Blanca, incluso en el mismo año (17105 Kg MS ha⁻¹). Esto señala una limitación para la utilización de la ecuación de MBBCR en zonas de regímenes de precipitación más elevados o de mayor potencial de rendimiento del cultivo, que las del ambiente de la región de estudio donde fue generada la ecuación de predicción. Asimismo, la media de los cuatro ciclos predichos es un 17% inferior a la de los datos reportados en Bordenave. Esto podría ser atribuido a la influencia específica del alto rendimiento del ciclo 2009-10, pero también a otros factores reportados por Bolletta *et al.* (2010), como la mayor profundidad y capacidad de retención de agua de los suelos de Bordenave que permitiría una mayor eficiencia en la acumulación y uso de agua de lluvias posterior por el cultivo en esta localidad, en relación a Bahía Blanca.

Stone *et al.* (2001), menciona que más allá de la alta tolerancia del género *Sorghum* a la sequía, la dotación de agua es el principal factor que determina el rendimiento. Este hecho es consistente con la alta variabilidad observada en la PPN modelada en esta tesis, frente a la variación de la precipitación. Por otro lado la mayor frecuencia observada de ejercicios con altos niveles de PPN del sorgo en

esta región serían atribuibles a los numerosos mecanismos de tolerancia a la sequía identificados por la literatura científica.

En primera instancia el género *Sorghum* está comprendido por plantas con fotosíntesis C_4 , que presentan las ventajas ya mencionadas en este tipo de ambientes semiáridos y con veranos con altas temperaturas (Stone *et al.*, 2001; Ashok *et al.*, 2011).

Youngquist *et al.* (1990); Hammer *et al.* (2003) y Salih *et al.* (2009), remarcan la mayor capacidad del sorgo para la absorción de agua del suelo y su mayor eficiencia de utilización respecto al maíz. Lo cual es factible a partir de un sistema radicular fibroso que puede extenderse 1,5 m alrededor del tallo, duplicando la proporción de raíces secundarias y pelos radicales en cualquier estado de crecimiento, respecto a este otro cultivo. Gregory (2006), reporta el extenso sistema radicular que presenta esta especie con mediciones de 26 km m^{-2} de biomasa subterránea.

El género *Sorghum* posee mecanismos combinados para alcanzar una alta capacidad de regulación de la transpiración, muy superior a la especie *Zea mays*, tales como una menor área foliar, hojas más angostas y cerosas con una cutícula gruesa, menor proporción de estomas en el haz que en el envés de las hojas y células motoras ubicadas cerca de la nervadura central que favorecen el rápido arrollamiento de la lámina (Doggett, 1970; Unger & Baumhardt, 1999; Belum *et al.*, 2009; Assefa *et al.*, 2010).

Jonhson *et al.* (1978); Ashbell *et al.* (1999) y Borrel *et al.* (2000), indican que si bien la sequía afecta el rendimiento potencial de forraje, durante periodos prolongados de estrés hídrico esta especie presenta mecanismos para disminuir los procesos metabólicos y permanecer en latencia hasta que las condiciones de humedad sean nuevamente favorables para retomar el crecimiento. Por otro lado, manifiesta una alta adaptación a suelos con distintos tipos de limitantes como: baja fertilidad principalmente nitrógeno; salinidad (Krishnamurthy *et al.*, 2007, Gates *et al.*, 2009), elementos tóxicos como aluminio (Magalhaes *et al.*, 2007); elevada acidez e inundaciones temporarias (Holland *et al.*, 1996).

Jordan *et al.* (1982 y 2012), mencionan como un atributo importante en regiones semiáridas, su tolerancia a altas temperaturas por encima de 40°C . Si bien el estrés térmico e hídrico suelen manifestarse en muchas ocasiones simultáneamente, estos autores conjuntamente con Khizzah *et al.* (1993); Rooney (2004) y Setimela *et al.* (2007), mencionan que los mecanismos de tolerancia a ambas variables ambientales actuarían por vías fisiológicas independientes.

Gardner *et al.* (1994) demostraron que la mayoría de los cultivares de sorgo evaluados manifestaban una alta tasa de eficiencia de uso del nitrógeno, incluso en suelos con bajos contenidos de este nutriente, demostrando su capacidad adaptativa a esta falencia. Estos autores señalan además, la capacidad de inhibición biológica de la nitrificación en el suelo aledaño a las raíces, que permite reducir las pérdidas de este nutriente en momentos de latencia por sequía.

Su moderada alta calidad de forraje en estado vegetativo, fuera de los periodos de sequía, es también reconocida por la literatura (Lodhi *et al.*, 1981;; Thomas *et al.*, 2000; Boletta *et al.*, 2010)

Los resultados hallados en esta tesis, concuerdan con los de Maman *et al.* (2003), quienes reportan que el rendimiento de sorgo en clima semiárido de

Nebraska en las campañas 2000 y 2001 fue de 4100 y 5000 Kg MS Ha⁻¹. En este mismo ensayo la eficiencia del uso del agua fue de 12,42 y 13,36 Kg MS mm⁻¹, que presentó diferencias ($p < 0,05$) respecto a otro verdeo anual (*Pennisetum glaucum*), con tasas de 5,65 y 10,5 Kg MS mm⁻¹, para 2000 y 2001, respectivamente.

La literatura posiciona al cultivo de sorgo como el verdeo de verano de mayor estabilidad de rendimiento, frente a situaciones de alto estrés hídrico estival.

La mayor capacidad de producción de biomasa del sorgo respecto al mijo, según un estudio de Blue & Sullivan (1985) estaría relacionada a las mayores tasas de intercambio de carbono, tasas de carbono fijado por mm de agua transpirada, menor pérdida de agua por las hojas, mayor potencial de agua de las hojas y capacidad de ajustes osmóticos para retener el agua en el interior de las plantas.

En cultivos de *Sorghum bicolor* (L) Moench (sorgos graníferos) Stone & Schlegel, (2006), informan una eficiencia del uso del agua media de 16 Kg grano mm⁻¹.

Reddy *et al.* (2008) reporta que *Sorghum saccharum* demostró una mayor producción de biomasa por unidad de agua consumida respecto a *Zea Mays* y a *Saccharum officinarum* ($p < 0,05$).

Estos resultados son consistentes con los de Rees *et al.* (2006) en la zona subhúmeda de Nebraska, donde en un ensayo comparativo de rendimiento entre sorgo granífero, maíz y soja, este primero expuso la mayor eficiencia de uso del agua ($p < 0,05$), frente a la variación observada en la distribución de lluvias recibidas en ese ambiente.

House, (1985) señala dentro de las gramíneas anuales, la capacidad del sorgo de requerir menores cantidades de humedad ($p < 0,05$) para su crecimiento (332 Kg de agua · Kg MS⁻¹) respecto otros cultivos C₄ como maíz (368 Kg de agua · Kg MS⁻¹), y C₃ como cebada (434 Kg de agua · Kg MS⁻¹) y trigo (512 Kg de agua · Kg MS⁻¹).

Ensayos comparativos han demostrado que el sorgo supera en producción de biomasa al maíz cuando los rendimientos de grano de este último han sido inferiores a 6,4 Tn ha⁻¹, sugiriendo el cultivo de este primero en ambientes de lluvias erráticas y altas temperaturas (Staggenborg *et al.*, 2008), como la zona de estudio.

En una investigación de Reddy *et al.* (2009) se expone el avance que ha permitido las mejoras genéticas de las últimas décadas en la hibridación para obtener cultivares no solo con mayor potencial de rendimiento, si no también con una mayor tolerancia a ambientes con escasez de agua.

Por su parte, Vadez *et al.* (2011) menciona la alta tolerancia a la sequía que en el sorgo estaría dada por una gran variedad y combinaciones de mecanismos fisiológicos y morfológicos como la alta eficiencia en la extracción de agua, la rápida respuesta a déficit en la tensión vapor de las hojas, la eficiencia del proceso de transpiración, la conductancia hídrica en las hojas, la capacidad para disminuir la transpiración durante períodos de estrés hídrico y la cobertura cerosa de los tallos y hojas que minimizan la pérdida de agua. En estos mecanismos, existirían una gran cantidad de genes involucrados, resaltando los potenciales adelantos futuros que podría continuar confirmando el progreso genético. Asimismo, menciona que varios de estos factores estarían altamente correlacionados a genotipos que expresan la característica de “permanencia en verde” en estado reproductivo. Estudios recientes

de Borrell *et al.* (2000); Reddy *et al.* (2009) y Kassahun *et al.* (2010) concuerdan con estas conclusiones, sobre todo en sorgos graníferos o doble propósito. El alto potencial de rendimiento observado en el cultivar híbrido ensayado en esta tesis, demuestra el importante aporte de este cultivo en la región. En estudios futuros sería importante continuar actualizando en las subrutinas de PPN de MBBCR, nuevas ecuaciones determinadas de manera experimental en la zona, de otros materiales de sorgo y avances genéticos como los mencionados.

Blümmel *et al.*, (2010), mencionan la amplia senda a recorrer en el mejoramiento genético de estos cultivos y que la adopción de dichos cultivares mejorados potenciaría el desarrollo de los sistemas ganaderos en el mundo. Craufurd *et al.* (2011) agregan que la capacidad de adaptación de esta especie y variabilidad de germoplasma, sería una herramienta muy útil frente a la incidencia del cambio climático en varias regiones del mundo. Reedy *et al.* (2011) también concuerdan con la importancia de este cultivo, en estrategias de ajuste de la producción forrajera frente al cambio climático.

Jenks *et al.* (2007), sostiene que el estudio genético podría mejorar aún más, características distintivas de esta especie, como la capacidad de transpiración relativamente pequeña en relación a la capacidad de absorción de las raíces.

Hammer *et al.* (2010) señala que los estudios de modelización de los parámetros productivos de distintos genotipos de sorgo en relación a distintas características edáficas y climáticas, para evaluar su ajuste y estrategias de adaptación, ha dado resultados muy satisfactorios en ambientes semiáridos de África previo a su inclusión real. Estos resultados apoyan la importancia de la utilización y desarrollo de modelos para la pre-evaluación de los genotipos previo al traslado entre zonas agroclimáticas semiáridas semejantes del mundo, como podría ser la región de estudio.

3.3.4.6. PPN anual de la Superficie ganadera total.

La Figura 41 muestra el impacto de la utilización de distintas proporciones de los recursos forrajeros expuestos sobre la PPN anual de la superficie ganadera total, expresada por unidad de superficie (ha ganadera), tanto para SM y ST bajo los contextos PPa y PPc.

Se encontraron diferencias ($p < 0,0001$) entre la mediana (K-W) de los cuatro tratamientos bajo estudio. La PPN de ST-PPa varió entre 2358 y 4914 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ con una mediana de 3376 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, y SM-PPa entre 324 y 2167 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ con una mediana de 1197 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹. Por su parte ST-PPc varió entre 2189 y 5118 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 3866 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, y SM-PPc entre 215 y 2156 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, con una mediana de 986 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹.

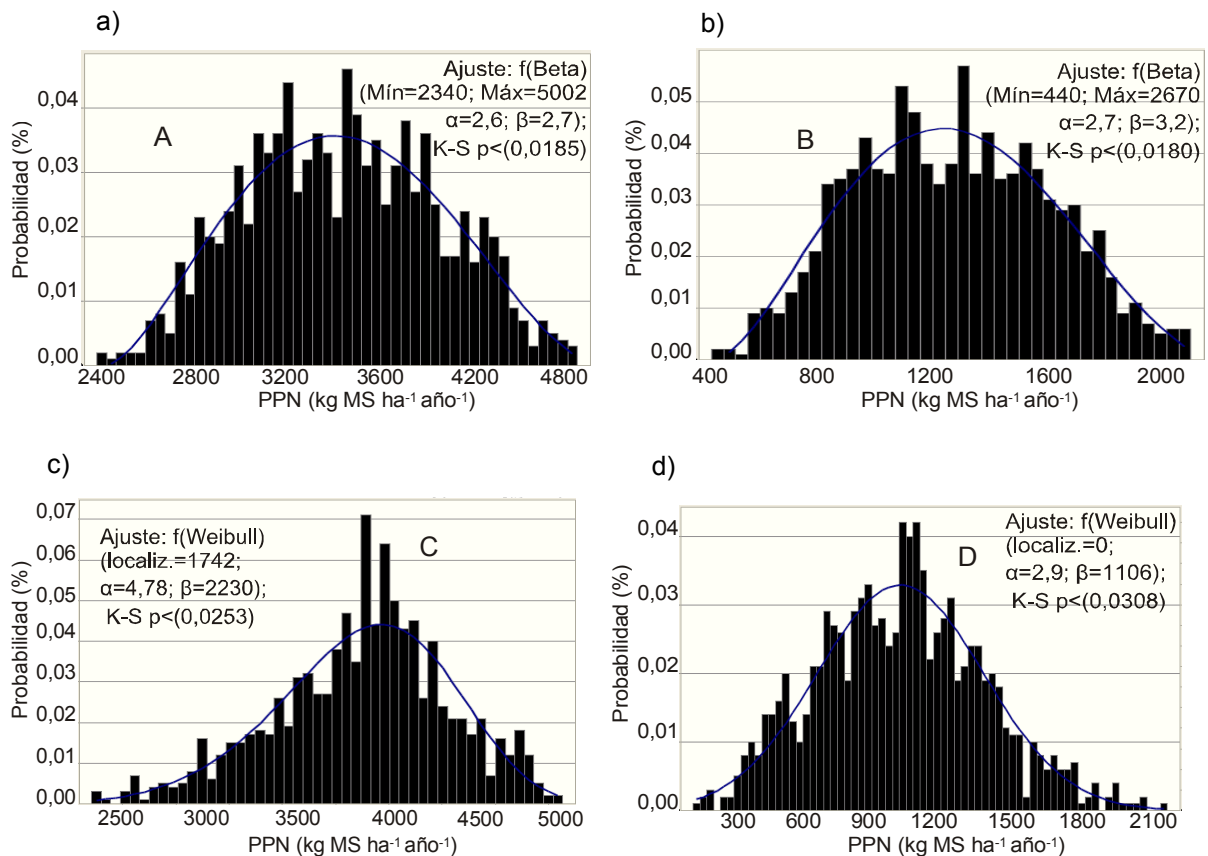


Figura 41. Distribución de frecuencias observada de la producción primaria neta simulada, por unidad de superficie ganadera total, para los cuatro tratamientos evaluados ($n=5000$). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

Una función beta fue la que demostró mayor ajuste (K-S) a ST-PPa, ($p < 0,0185$) y SM-PPc, ($p < 0,0180$); mientras una Weibull ajusto mejor tanto a ST-PPc, ($p < 0,0253$) como a SM-PPc, ($p < 0,0308$). Los CV determinados fueron respectivamente para ST-PPa, SM-PPa, ST-PPc y SM-PPc: 14,1; 29,4; 11,8 y 39,2 %.

Discusión

La PPN anual de la superficie ganadera total resume el impacto de la utilización de los distintos recursos forrajeros y proporciones, en un sistema de producción. El análisis de los efectos medios de la gestión de la tecnología de procesos primarios de producción, como es la elección de especies (Ruiz *et al.*, 2008) y la determinación de su composición porcentual dentro de la superficie ganadera total, demostró un impacto diferencial sobre la PPN total del sistema.

ST-PPa mostró un incremento del 182% de la PPN anual por unidad de superficie, respecto a SM-PPa ($p < 0,0001$), lo cual indica que la selección de las especies y cultivares en las proporciones estipuladas en el sistema mejorado

propuesto, permitiría optimizar la eficiencia del uso del agua de lluvias para la producción de biomasa vegetal forrajera, a partir de la distribución de la precipitación característica de la región de estudio. Esta diferencia se acrecienta en el escenario PPc, donde ST-PPc demuestra un incremento del 292% de la PPN de la superficie ganadera respecto a SM-PPc ($p < 0,0001$), debido a un aumento de la PPN del 14,5% en ST-PPc respecto a ST-PPa ($p < 0,0001$) y una reducción del 14,5%, de SM-PPc respecto a SM-PPa ($p < 0,0001$).

El análisis de la variabilidad observada en las FDP de la PPN anual de los tratamientos ST-PPa y SM-PPa, resalta que existiría una probabilidad del 0,0 y 57,3% de alcanzar una producción inferior a los 1500 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ y del 2,1 y 98% para niveles superiores a los 2500 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. El cambio en la composición de la oferta forrajera permitiría además, un incremento en la estabilidad relativa de la PPN del sistema, observable en una disminución del 52% del CV en ST-PPa respecto a SM-PPa.

Por su parte, en ST-PPc y SM-PPc se observó una probabilidad del 0,0% y 91% para una PPN menor a 1500 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹ y del 99,42 y 0% para niveles mayores a los 2500 Kg MS ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. EL CV ST-PPc respecto a SM-PPc muestra una reducción del 69,9%, lo cual indicaría que la estabilidad relativa alcanzada en ST respecto a SM en PPc sería mayor a la experimentada en PPa.

Estos resultados serían atribuidos a la mayor proporción de recursos forrajeros compuesto por especies de tipo C₄ (10% verdes de sorgo y 50 % de pasturas de llorón) en ST, respecto a SM (14% de verdes de sorgo), que conferiría a este primer sistema de mejores condiciones para incrementar la producción de forraje en función de la distribuciones probabilística de las precipitaciones en la región de estudio. En SM-PPc esta situación se haría más ventajosa, a partir del incremento esperado en las FDP de las precipitaciones estivales y otoñales, que permitiría en estas dos especies C₄ incrementar su PPN (Fig. 39 y 40). Mientras la disminución de las medianas de la FDP esperadas en primavera en PPc, afectaría solo levemente la PPN de las especies C₄, como se demostró previamente.

En el extremo opuesto, el cambio en la distribución de la precipitación primaveral, que afectaría severamente a las especies C₃ (Fig. 36 y 38), explicaría la caída de la PPN de la superficie ganadera de SM-PPc respecto a SM-PPa, ya que este sistema se sostiene a partir de un 24% verdes de avena y 62% de campo natural de *S. tenuissima*. En el caso de ST-PPc el impacto negativo de la disminución de la precipitación primaveral no sería tan importante, ya que ST adopta solo una proporción del 15% de verdes de avena y el 25% de una especie C₃ como el Agropiro, que a diferencia de las demás especies templadas evaluadas, demuestra una alta estabilidad frente a la sequía como se mencionó anteriormente (Fig. 37).

Las limitaciones en las precipitaciones y la baja capacidad de retención de agua de suelos en la región semiárida argentina son la causa de déficit hídricos estacionales que soportan las plantas. Debido a este motivo, la reducción de su potencial hídrico, afecta severamente el crecimiento y producción de biomasa de las mismas (Echenique&Curveto, 1986; Ben Haj &Tardieu, 1997; Brededan *et al.*, 2004; Blum, 2005). Las diferentes especies manifiestan distintos mecanismos y formas de adaptación al estrés hídrico (Pugnaire *et al.*, 1994; Colom&Vazzana, 2003) que condicionan substancialmente su PPN en este tipo de ambiente. Las distintas

especies evaluadas en esta tesis manifestaron un comportamiento diferencial frente a un amplio rango de la variabilidad climática regional a la cual fueron testeadas a través de la simulación. Ruiz *et al.* (2008) señalan a la introducción de especies altamente tolerantes al estrés hídrico, como una estrategia tecnológica decisiva para el manejo productivo para los sistemas ganaderos ubicados en zonas semiáridas templadas como la región pampeana Argentina.

Resultados semejantes fueron reportados por Chapman, *et al* (2008 ayb), cuando estudiaron el impacto de distintas composiciones porcentuales de diferentes forrajeras en la superficie ganadera de los sistemas lecheros modales de Victoria Australia a través de modelos. Estos autores destacan que el incremento de la superficie con forrajeras perennes adaptadas al régimen de precipitaciones de esta región como *Lolium perenne* y *Festuca arundinácea*, por sobre la utilización de cultivos forrajeros anuales permitió disminuir significativamente los costos de alimentación. Asimismo, la utilización de una mayor proporción de *Festuca arundinácea*, especie de mayor tolerancia a la sequía por sobre *Lolium perenne* confería al sistema de una mayor estabilidad interanual de la producción de forraje ($p < 0,05$), que derivaba en un menor riesgo económico de este sistema, donde la ocurrencia de sequías moderadas en dicha región promediaba un 40% de los años en el registro histórico desde 1900 a 1999.

Los resultados hallados en la presente tesis, destacan principalmente que la utilización de una alta proporción de especies C_4 permitiría un incremento substancial de los niveles y la estabilidad de la PPN de la superficie ganadera en los sistemas regionales. Asimismo, la adopción de especies C_3 como Agropiro, que demostraron una muy alta estabilidad frente a variaciones en la dotación de lluvias, permitiría otorgar a los sistemas de una oferta forrajera potencialmente alta, con momento y calidad complementarias a la de las especies C_4 .

La correlación entre la PPN anual de la superficie ganadera y la PCN de cada tratamiento alcanzó niveles superiores a un coeficiente de 0,65 en todos los tratamientos: ST-PPa ($r=0,68$, $p < 0,001$), SM-PPa ($r=0,79$, $p < 0,001$), ST-PPc ($r=0,66$, $p < 0,001$) y SM-PPc ($r=0,74$, $p < 0,001$) respectivamente. La alta relación encontrada entre estas dos variables demuestra que el incremento de la oferta forrajera es uno de los procesos de producción más relevantes en los sistemas ganaderos del área. Por lo tanto cuando se busca aumentar la PCN de los sistemas debería ser una de las primeras tecnologías a optimizar en una región, a través del avance de la investigación científica y el posterior diseño tecnológico de los sistemas a partir de dicha información.

No obstante, para que la utilización de este tipo de especies redunde en incrementos reales en la PCN del sistema, se debería adecuar posteriormente la tecnología de producción secundaria, que integren prácticas de manejo ganadero, que permitan incrementar la conversión de dicha biomasa forrajera en producción animal, en función de su calidad estacional específica.

En estos aspectos el diseño y utilización de modelos adecuadamente calibrados a la información experimental, posibilita el estudio de la integración de numerosas variables sobre la globalidad del sistema, permitiendo realizar experimentos con combinaciones que resultarían difícil desde el punto de vista operativo y de recursos bajo investigación de campo (Woodward *et al.*, 2008).

Los resultados hallados se asemejan a los de Castellaro & Squella (2006), donde a través del diseño de un modelo de simulación del crecimiento, fenología y balance hídrico en praderas anuales de clima mediterráneo en Chile, que consideró variables tales como las condiciones climáticas, la disponibilidad de material fotosintético y la humedad del suelo, el modelo fue capaz de explicar el 90% de la variación de los valores observados en la PPN de las praderas bajo estudio. Estos autores sostienen que, dada la compleja naturaleza del sistema suelo-planta-clima-animal, el uso de modelos de simulación es una herramienta útil para evaluar manejos alternativos de praderas, en distintos ambientes edafoclimáticos.

Por su parte Bettolli *et al.* (2010) encontraron que frente a un conjunto de variables estimadoras de la tasa de crecimiento de pastizales naturales de Uruguay, las variables precipitación y temperatura, fueron las que explicaron mayoritariamente la variación en el rendimiento de dichas praderas ($p < 0,05$). Asimismo, estos autores resaltan que el estudio de estas variables ambientales en un contexto de cambio climático, permitiría posteriormente estimar el comportamiento de la productividad futura de las especies de dichos pastizales y de la superficie ganadera, a partir de modelos previos generados.

3.3.5. Análisis de las variables del proceso productivo secundario

3.3.5.1. Tasa de preñez.

Se encontraron diferencias ($p < 0,0001$) en las medianas (K-W) del índice de preñez del rodeo adulto entre los tratamientos bajo estudio (Fig. 42), a excepción entre ST-PPa y ST-PPc.

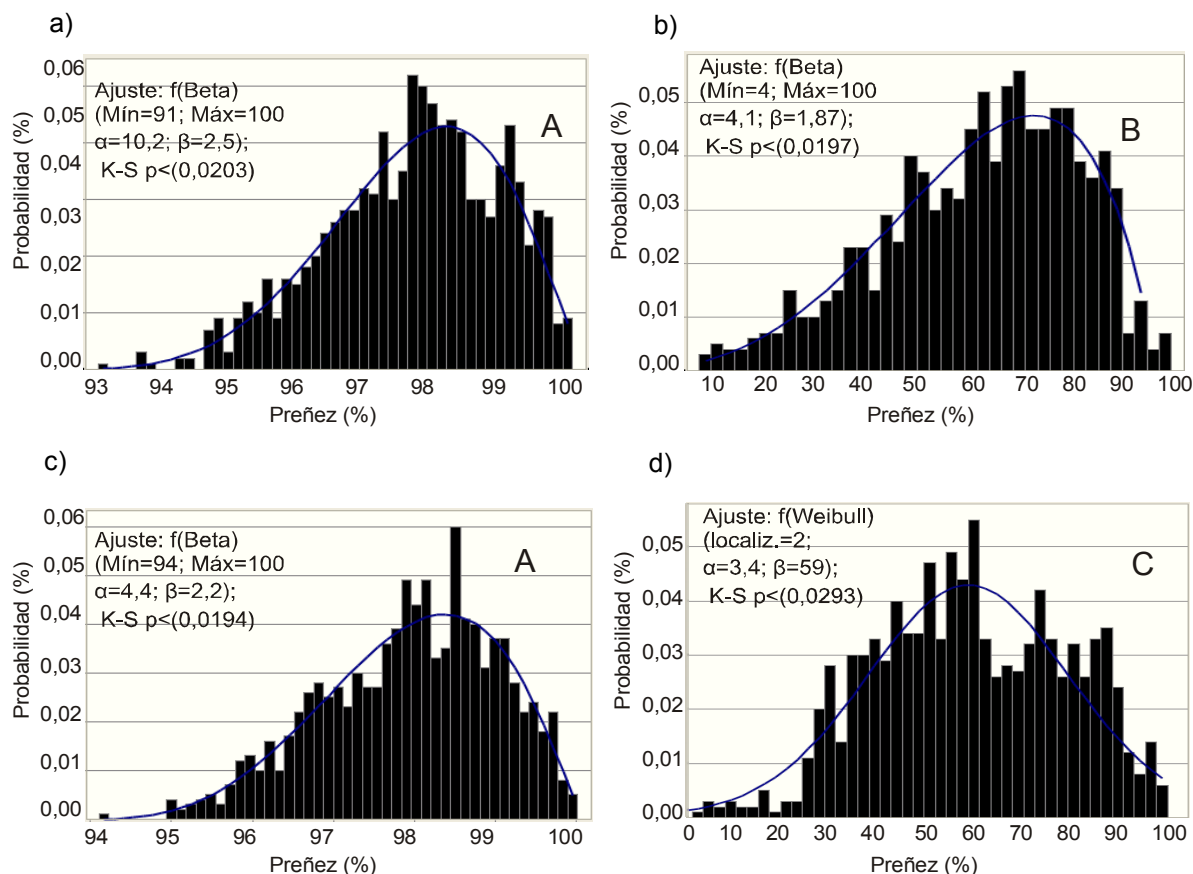


Figura 42. Distribución de frecuencias observada de la tasa de preñez simulada para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

La tasa de preñez varió entre 94% y 100% con una mediana de 98% en ST-PPa, y SM-PPa entre 11% y 100%, con una mediana de 67%. Mientras ST-PPc varió entre 93% y 100%, con una mediana de 97,5%, y SM-PPc entre 4 y 100%, con una mediana de 56%.

La mayor bondad de ajuste (K-S) a las distribuciones observadas la confirmó una función beta en ST-PPa ($p < 0,0203$), SM-PPa ($p < 0,0197$) y ST-PPc ($p < 0,0194$). Mientras en SM-PPa fue una función weibull ($p < 0,0293$). El CV de ST-PPa fue del 1,1 % y el de ST-PPc fue del 0,92%, en SM-PPa fue del 24,4% y en SM-PPc del 36,2%.

Discusión

La tasa de preñez es el índice inicial y más objetivo utilizado a nivel mundial, para evaluar la eficiencia reproductiva de un sistema ganadero en forma integral (Wettemann *et al.*, 2003). El mismo refleja el resultado de la interacción de numerosos aspectos nutricionales, sanitarios y de tecnologías de manejo del rodeo reproductivo de manera conjunta (Schultz *et al.*, 2005; Blanc *et al.*, 2008). En sistemas preponderantemente de cría, el índice de preñez es una de las variables de mayor impacto en la PCN y el resultado económico (Bourdon *et al.*, 1987b; Mathews *et al.*, 2001; Arnade *et al.*, 2003; Feldkamp *et al.*, 2005), ya que constituye una variable determinante de la dinámica y productividad del proceso.

La mediana de la tasa de preñez en ST-PPa fue un 46,2% superior a la de SM-PPa ($p < 0,0001$). La principal causa de disminución de la tasa de preñez es el intervalo entre partos que se encuentra directamente influenciado por el anestro post parto. Los principales factores que regulan el anestro post parto son el consumo de nutrientes, el estado nutricional de los vientres y el amamantamiento (Wettemann *et al.*, 2003; Montiel & Ahuja, 2005). El marcado incremento de la preñez, observado en ST, estaría explicado por la optimización del manejo nutricional del rodeo, a partir de un efecto conjunto de la integración y aplicación de una serie de tecnologías disponibles como: el incremento y estabilidad de la oferta forrajera, la planificación de su utilización en función de los requerimientos nutricionales de los vientres a través de la confección de una cadena forrajera racional, la suplementación estratégica, el monitoreo de la CC y la aplicación del destete precoz sistemático.

La utilización de especies C_4 , su mayor estabilidad y potencial de producción permitiría el aumento en la PPN de la superficie ganadera en ST (Fig. 41). No obstante, los porcentajes de DMS y PB de estas especies diferidas utilizadas en la alimentación invernal del rodeo adulto en este modelo, y consistentemente con las reportados por diversos autores (Rabotnicof *et al.* 1986b; Snyman 1994; Gargano *et al.*, 2001a y b), presentan balances de EM negativos y se encuentran por debajo de

los requerimientos mínimos de mantenimiento (>7% PB) de vacas de cría adultas en gestación en el último tercio (NRC 1996 y 2000). Investigaciones previas, han demostrado que estas limitaciones en FBC pueden ser resueltas satisfactoriamente a través de ajustes mediante suplementación (Beaty *et al.*, 1994; Moore *et al.* 1999; Bodine *et al.*, 2000; Farmer *et al.*, 2001; Koster *et al.*, 2002; Kluyts *et al.*, 2003; Farmer *et al.*, 2004; Stalker *et al.*, 2007). En el caso de ST-PPa y ST-PPc, la aplicación de suplementación estratégica energético-proteica, la diagramación de la cadena forrajera y la aplicación del destete precoz permitieron adecuar los requerimientos nutricionales de los vientres durante todo el ciclo productivo. Mientras en SM-PPa y SM-PPc la ausencia de utilización de estas dos últimas prácticas, como la utilización sin criterios técnicos racionales de la primera, derivaron en desbalances periódicos y aleatorios, principalmente en los periodos de mayores requerimientos de las madres.

La nutrición de los vientres es un aspecto fundamental para lograr una alta performance reproductiva. La identificación de las limitantes nutricionales potencialmente perjudiciales y la determinación de prácticas de manejo para alcanzar balances nutricionales óptimos permiten aumentar la eficiencia reproductiva (Hess *et al.*, 2005). Las tecnologías de producción secundaria utilizadas en ST, configuran un diseño tecnológico integrado, que demuestra una alta eficacia para estabilizar altas tasas de preñez en los rodeos de cría, frente al rango completo de la variabilidad de la precipitación en la región de estudio.

Por un lado, la optimización del balance nutricional al parto y postparto en ST permitiría disminuir el periodo de anestro postparto y por lo tanto lograr las altas tasas de preñez observadas en la distribución estocástica en este trabajo. Las altas tasas de preñez observadas en las simulaciones de esta tesis, fueron consistentes con los resultados experimentales revisados en la literatura científica internacional.

Lamming, *et al.* (1981) encontró que la reanudación del crecimiento folicular después del parto en vientres de adecuado estado nutricional resulta del incremento de la secreción de FSH entre los 3 a 4 días posteriores al mismo.

Las restricciones en el consumo de nutrientes del rodeo causa pérdidas de peso y por ende de la CC. (2005) señala que la CC, indicador preciso de la disponibilidad de reservas corporales y por lo tanto del estado nutricional de los vientres se encuentra altamente correlacionado a la ciclicidad postparto. Richards *et al.* (1986 y 1989) indicaron que las reservas corporales regulan la secreción hipotalámica e hipofisiaria que controlan la función ovárica luego del parto. Schillo *et al.* (1992) y Crowe (2008) mencionan que el déficit energético post parto condiciona la actividad reproductiva mediante la supresión de la liberación de GnRH que acciona la frecuencia de pulsos de LH necesarios para lograr el crecimiento folicular.

Flores *et al.* (2008) exponen que el estado de subnutrición y bajas reservas corporales afectarían la fertilidad, a partir de señales entre el eje hipotálamo-hipófisis-gónada por mecanismos hormonales metabólicos complejos que incluirían la IGF-I, hormonas tiroideas y prolactina.

El estado corporal en distintas etapas fisiológicas de los vientres causa efectos distintivos sobre su performance reproductiva. Perry *et al.* (1991) expusieron que restricciones nutricionales severas en el último trimestre de la gestación y postparto derivan en la ausencia de folículos ováricos mayores que 8 mm de diámetro que son los que podrían convertirse en dominantes en menor tiempo, adelantando el primer estro.

En un estudio reciente, Hess *et al.* (2005) encontraron una alta correlación entre la longitud del intervalo entre partos y la CC al parto ($r=0,75$; $p<0,001$). Mientras que la relación del intervalo entre partos con el balance energético preparto, estimado a partir de los cambios en la CC, fue menor ($r=0,52$; $p<0,01$). Estos resultados también coinciden con los observado por Houghton *et al.* (1990).

Lake *et al.* (2004) observaron, en dos tratamientos con vacas en una CC al parto de 4 y 6 (escala 1 a 9), las cuales fueron posteriormente alimentadas a niveles de mantenimiento, que si bien la tasa de concepción al primer servicio no fue afectada ($p>0,22$), la tasa de preñez del periodo total de servicio si lo fue, ubicándose en un 63,9% y 88,9% ($p<0,01$), respectivamente.

Lalman *et al.* (1997) encontraron que el intervalo parto primer estro, en vacas en nivel de subnutrición (CC 4 en escala 1 a 9), disminuyó ($p<0,01$) a medida que se les aumentó la concentración de energía metabolizable en la dieta. Estos resultados concuerdan con los de Montgomery *et al.* (1985), que a partir de un alto nivel nutricional durante 55 días antes del parto y 40 días después lograron reducir el periodo al primer estro y elevar el PV en un 9% ($p<0,01$), respecto a vacas que se mantuvieron en un nivel nutricional medio.

Lents *et al.* (2008) en un trabajo de evaluación de vacas en CC 4 y 5 (en escala 1 a 9) que recibieron distintas dietas, observaron que el tratamiento que alcanzó la mayor tasa de preñez y menor periodo de anestro postparto ($p<0,05$), fue el de vacas con CC 5 y con la dieta de mayores niveles de EM y PB. Resultados similares en cuanto a la mayor tasa de preñez y el menor periodo de anestro ($p<0,05$) en vacas de CC 5 y alto nivel nutrición fueron reportados por Ciccioli *et al.* (2003), pero estos autores no encontraron diferencias significativas en la función endocrina y reproductiva al primer estro entre ambos tratamientos.

En dos trabajo recientes, Donzelli *et al.* (2009 y 2010) reportan porcentajes de preñez del 100% en vacas Aberdeen Angus que fueron sometidas a restricción nutricional invernal controlada y posteriormente al parto a un manejo adecuado de la nutrición. Estos autores mencionan la factibilidad práctica de esta técnica, a través del manejo de la alimentación, regulando variables tales como la composición de la dieta, carga animal, y altura de la pastura al momento del pastoreo. Estos resultados conciden con estudios previos de Burges *et al.* (2003) que observaron altas tasas de preñez en vientres sometidos a restricción invernal, cuando la alimentación durante la lactancia permitió alcanzar GDP mínimas de $0,4 \text{ Kg Cab}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

El acortamiento del periodo de amamantamiento a través del destete precoz sistemático en ST, sería otra variable que interactúa con el manejo nutricional post parto en la determinación de las tasas de preñez y el periodo hasta el primer estro.

La lactancia y la presencia del ternero al pie de la madre son factores que incrementan la duración del anestro posparto (Lamb *et al.*, 1999). Short *et al.*, (1990) mencionan que los mismos, mediarían la producción de endorfinas que en interacción con los bajos niveles de estrógenos observados durante el posparto temprano, reducirían la liberación pulsátil de LH y, el consecuentemente desarrollo de folículos ovulatorios. La interrupción temporal o definitiva del amamantamiento, suprime el estado de anestro, incrementando las tasas de celo-ovulación (Geary *et al.*, 2001)

Short *et al.* (1990) demostraron que el amamantamiento prolonga el anestro postparto ($p<0,05$), pero que también manifiesta interacción con otras variables

relacionadas, siendo el efecto de mayor magnitud cuando la CC es más baja y /o en vacas primíparas ($p < 0,01$). Esto sería consistente con los resultados de Loudon (1987) que propuso que los efectos inhibitorios del amamantamiento presentan interacción con estado de bajo nivel nutricionales de los vientres.

Wettemann *et al.* (2003) mencionan que la CC al parto también presentaría interacción con el efecto del amamantamiento sobre la función ovárica. Estos autores observaron que los vientres con mayor CC presentaron una menor duración entre parto-primer estro ($p < 0,05$). Asimismo visualizaron que el destete precoz fue una herramienta que permitió elevar las tasas de preñez incluso en vacas con baja CC al parto. Estos resultados se asemejan a los de Bishop *et al.* (1994) que encontraron que en vacas de CC al parto mayor a 5 (escala 1 a 9), cuando se aplicaba destete hiperprecoz a los 35 días, se presentaba un 100% de ovulación a los 25 días posteriores al mismo. Mientras en vacas con CC al parto < 5 , dicho efecto solo alcanzaba un 40% de los vientres ($p < 0,05$).

En un trabajo reciente de Escobedo-Amezcuca *et al.* (2010), con vacas cruza Bos taurus X Bos indicus bajo lactancia continua y restringida ($30 \text{ minutos día}^{-1}$), encontraron que en este segundo tratamiento, se incrementó la CC, la tasa de ovulación, la tasa de concepción y la tasa de preñez ($p < 0,001$). Asimismo disminuyó el intervalo parto primer celo ($p < 0,005$).

Myers *et al.* (1999b), encontraron que la tasa de preñez de vacas (1/2 Simmental x 1/4 Angus x 1/4 Hereford) se incrementó en 12 unidades porcentuales ($p < 0,015$), cuando el destete se aplicó a los 90 días respecto al destete tradicional de 215 días. Asimismo, Story *et al.* (2000) reportan que la CC (escala 1 a 9) y el PV observado en vacas cruza razas británicas x continentales, a las cuales se les aplicó tres fechas de destete (150, 210 y 270 días) difirió ($p < 0,005$) en (5,8; 583 Kg), (5,5; 560 Kg) y (5,2; 541 Kg) respectivamente.

Schultz *et al.* (2005), observaron durante 3 años que las GDP, en vacas y vaquillonas (Agus x Beefmaster) fueron superiores ($p < 0,01$; +42, +47 y +54 Kg vaca⁻¹ para el año 1, 2 y 3 respectivamente) en vientres destetadas a los 108 días respecto a los 205 días. La CC (escala 1 a 9) siguió una tendencia semejante ($p < 0,01$; +1,7, +0,3 y +0,5 unidades CC vaca⁻¹, para el año 1, 2 y 3 respectivamente). Resultados semejantes fueron reportados por otros autores con tasas de preñez por encima del 90%, cuando se aplicó destete precoz (Harvey & Burns, 1988; Short *et al.*, 1996; Myers *et al.*, 1999a).

Peterson *et al.* (1987) informaron que el par vaca-ternero destetados precozmente presentaron una conversión alimentaria un 43% más eficiente que los pares de destete tradicional.

Las altas tasas de preñez observadas en las simulaciones de esta tesis para el rodeo adulto en ST, con un manejo nutricional adecuado, coincidieron con lo informado por la literatura citada. Además respondieron según lo esperado, ya que los vientres destetados precozmente serían capaces de particionar la totalidad de los nutrientes ingeridos a las funciones de mantenimiento, ciclaje y gestación en lugar de la lactancia (Lusby *et al.*, 1981). En el caso de MBBCR, solo contempla el efecto positivo del destete precoz sobre la tasa de preñez, a partir de la disminución de los requerimientos nutricionales de los vientres, que permitiría mayores GDP con menores consumos de nutrientes. En estudios futuros sería importante incluir en este modelo, subrutinas que contemplarán la interacción hormonal de la presencia

del ternero al pie de la madre y el anestro postparto, como las expuestas a partir de la literatura científica.

De acuerdo a los resultados hallados, el proceso de la cría en la región, a pesar de la alta variabilidad de la precipitación del ambiente, presentaría alternativas para el mejoramiento y estabilización de sus índices reproductivos a través de un manejo adecuado de la nutrición de los vientres. Tal como demuestran las simulaciones, las herramientas para alcanzar este fin dependerían posiblemente en mayor medida de variables de manejo, del diseño de los sistemas y de la gestión del conocimiento como las tecnologías de procesos y optimización de los recursos disponibles, que de la aplicación de insumos.

Cuando se compara la preñez de SM-PPc respecto a SM-PPa se observa una reducción del 16,4% de la mediana ($p < 0,001$). En los sistemas modales donde no se realiza una atención y manejo de la nutrición adecuado, el nivel nutricional de la alimentación queda prácticamente determinado por la variabilidad climática anual y la oferta de forraje derivada. Motivo por el cual, la reducción de los niveles de preñez en SM-PPc podría ser relacionado a la disminución de la mediana y el aumento de la variabilidad de la precipitación primaveral en PPc, que afectaría directamente la producción de forraje en dicha estación y por ende el nivel de alimentación de los vientres en parto y post parto, repercutiendo negativamente sobre la fertilidad de las madres. En este sentido la tasa de preñez en SM-PPc se encontró altamente correlacionada con la precipitación primaveral ($r = 0,81$; $p < 0,05$).

No se hallaron diferencias significativas entre ST-PPa y ST-PPc. Esto estaría sugiriendo que si bien la PPN primaveral en PPc se vería ligeramente afectada, el manejo nutricional diagramado para ST tanto a partir de la suplementación estratégica, como la reducción de los requerimientos nutricionales del rodeo por la aplicación del destete precoz previo a la fecha del servicio, permitiría facilitar la recomposición del estado del rodeo y mantener tasas de preñez semejantes a las alcanzadas con una mayor precipitación primaveral en PPa.

El incremento del 74% en la mediana entre ST-PPc y SM-PPc ($p < 0,001$), estaría explicado por la caída en el índice de preñez en SM-PPc (-16,4%) y la no variación del mismo entre ST-PPc y ST-PPa. Esto indicaría que los sistemas modales actuales, verían mayores dificultades para mantener los bajos niveles actuales de preñez de los rodeos, frente al impacto esperado del CCG en la distribución de la precipitación primaveral en la región.

Las FDP de la tasa de preñez determinada para los modelos tecnológicos en estudio, permiten observar que existiría un riesgo de tan solo el 0,6 y del 0,9% de que la preñez del rodeo adulto en ST-PPa y ST-PPc fuera menor al 95%. Mientras la probabilidad de alcanzar tasas de preñez superiores al 99% sería del 23,2 y 19,8%, respectivamente. Por su parte las FDP de SM-PPa y SM-PPc, exponen que existiría un riesgo del 14,6% y 38,4% de que dicho índice fuera inferior al 50%. Mientras la probabilidad de superar el 85% de preñez se encontraría en tan solo un 20,8% y 7,4% de los ejercicios, respectivamente.

Las correlaciones de la preñez con la PCN global de los cuatro tratamientos estudiados fueron las siguientes ST-PPa ($r = 0,17$, $p < 0,001$), SM-PPa ($r = 0,77$, $p < 0,001$), ST-PPc ($r = 0,23$, $p < 0,001$) y SM-PPc ($r = 0,82$, $p < 0,001$).

El menor grado de asociación de la tasa de preñez con la PCN en ST, estaría explicado por la mayor estabilidad alcanzada de dicho índice a partir de las

tecnologías constitutivas del sistema, como el destete precoz y la atención al manejo nutricional de las madres. Este hecho resalta que la integración de la tecnología de procesos secundarios como la utilizada en ST, permitiría resolver los efectos negativos sobre la PCN de las bajas e inestables tasas de preñez en los sistemas modales.

Estos resultados coinciden con los expuestos por Ponssa *et al.*, (2003 y 2007) donde al evaluar las elasticidad del índice de preñez respecto a la PCN de los sistemas de ciclo completo predominantes en la Cuenca del Salado, a través de un modelos de simulación determinístico, encontraron que cuando dicha tasa se incrementaba desde 65% a 75% la elasticidad con la PCN era del 0,64. Mientras cuando la preñez aumentaba de 80 a 95% se observaba un comportamiento inelástico (0,24). Esto se explica debido a que con bajas tasas de preñez se limita la proporción de retención de terneros para la invernada que son una de las componentes de mayor aporte para incrementar la PCN mientras cuando se opera en rangos de tasas de preñez altas, la tasa de retención de cabezas para la invernada no se encuentra prácticamente condicionada por este motivo. En la medida que la participación de la invernada comienza a ser mayor, se reduce la importancia relativa de la tasa reproductiva sobre la PCN.

Asimismo, Turner *et al.* (2013) a través de un modelo dinámico calibrado a partir del registro de datos de una explotación de Texas (USA) entre 1996 y 2007 estudiaron el impacto de las políticas de venta de vacas refugio y tasa de reposición de vaquillonas respecto a varios indicadores productivos y económicos. Dichos autores encontraron que el ingreso neto (U\$S) fue sensible a la tasa de preñez del rodeo adulto, pero no lo fue frente a la tasa de preñez de las vaquillonas y a la disminución de la tasa de retención de esta última categoría hasta niveles mínimos. Además, observaron que las reducciones del ingreso neto en relación a la caída de la tasa de preñez en el intervalo de 70% al 50%, presentaba una tasa de cambio media (Δ ingreso neto/ Δ preñez) de $-125 \text{ U\$S} \cdot \text{unidad porcentual de preñez}^{-1}$, mientras entre el 50 y el 10% dicha tasa se localizaba en -25 . Estos resultados se relacionan con los anteriores, demostrando que según la configuración tecnológica del sistema, los cambios en la tasa de preñez, adquieren un distinto nivel de impacto sobre los indicadores físicos y económicos, resaltando la importancia de la utilización de modelos para el estudio de diferentes diseños de los sistemas de producción.

Soares de Lima (2009), en un estudio a partir de un modelo bioeconómico de sistemas de ciclo completo y cría exclusivos de Uruguay, encontró que en los sistemas de cría sobre pastizales naturales, la tasa de preñez presentaba una mayor asociación lineal ($r=0,33$; $p<0,05$) y un mayor efecto (pendiente de la recta $b=0,33$; $p<0,05$) que un sistema semejante de mayor intensificación tecnológica que incluyó un 20% de pasturas implantadas de alta producción ($r=0,02$; $b=0,12$; , $p<0,05$). En este punto, este autor señala que el aporte forrajero de alta calidad de las pasturas incorporadas, permitiría una mayor eficiencia del engorde de vacas viejas vacías, la cual es una componente de alto peso en la PCN en los sistemas de cría puros, reduciendo la contribución relativa de la producción de terneros y por lo tanto de la tasa de preñez, en la PCN del sistema.

En los sistemas de ciclo completo, observó que aquellos simulados sobre el pastizal natural nativo, mantuvieron relaciones con valores similares a los observados en la cría pura ($r=0,35$; $b=0,28$; $p<0,05$). Mientras en los intensificados con un 20% de pasturas implantadas, la correlación fue baja ($r=0,10$; $b=0,22$;

$p < 0,05$) pero superior a la cría pura. Esto se debería a que al agregarse en el ciclo completo la subactividad de invernada de los terneros producidos, una mayor tasa de preñez permitiría una mayor cantidad de terneros disponibles para engordar a partir del aporte adicional de pasturas de alta calidad, siendo esta última la componente principal de la PCN en un sistema de ciclo completo. La relación de la tasa de preñez con el MB evaluados por este autor siguieron una tendencia semejante a la observada con la PCN.

Como se observó en SM, cuando las tasas de preñez son bajas y su variabilidad muy alta, el impacto de dicha variabilidad sobre la PCN es mucho más alta. Además, la alta utilización de recursos forrajeros menos estables influye en una menor cantidad de terneros retenidos para invernada y además en una menor proporción de años, por lo cual la tasa de preñez adquiere un mayor peso en la determinación de la PCN de dicho sistema (Brereton *et al.*, 2005). Por esto motivo, en el caso de sistemas predominantes de cría, los resultados revelan que el primer aspecto a mejorar debería relacionarse con la preñez del rodeo, sobre todo cuando la misma se ubica en niveles relativamente bajos (Wettemann *et al.*, 2003; Blanc *et al.*, 2008).

Los resultados de la presente tesis, consistentemente con la literatura citada, muestran que el grado de influencia de la tasa de preñez, se relaciona con el diseño tecnológico del sistema (Kahn & Lehrer, 1984). En sistemas de cría recría o ciclo completo, la recría de terneros destete precoz y la posterior invernada de los mismos presenta una mayor eficiencia potencial del uso de la energía consumida en el forraje, respecto al largo proceso de producción de terneros de la vaca de cría (Beretta *et al.*, 2006). Este hecho indicaría, que una vez que se alcanza un alto grado de estabilidad en la preñez en un sistema de ciclo completo, el incremento de la PCN se debería mayoritariamente a la eficiencia de la invernada de dichos animales jóvenes. No obstante, puede ocurrir que cuando el nivel tecnológico y el manejo nutricional aplicado en la invernada es bajo, se puede derivar en situaciones de un proceso de engorde más ineficiente a partir de muy bajas GDP, que llevan un mayor requerimiento de tiempo y por lo tanto mayor consumo de forraje total. Esta situación es comúnmente observada cuando se busca implementar el engorde de los animales sobre pastizales compuestos principalmente por FBC, que serían más eficientemente aprovechados a partir de un proceso de cría planificado y complementado con otras tecnologías como en ST.

En este sentido, los resultados hallados y la discusión expuesta, también demuestran que la adecuación del sistema productivo a las características ambientales son un aspecto fundamental para optimizar la productividad y economía de los sistemas de una región

El proceso de la cría bovina es un sistema dinámico de interacciones complejas donde se articulan múltiples variables con efectos de realimentación y demoras (Bourdon *et al.*, 1987b; Mathews *et al.*, 2001; Arnade *et al.*, 2003). La utilización de modelos de simulación para su análisis e interpretación constituye una herramienta necesaria, ya que posibilita estudiar el comportamiento de una o más variables sin dejar de lado el análisis del impacto sobre las demás variables y la globalidad del sistema. Estos resultados se asemejan con mayor fidelidad a las observaciones de la realidad, donde el manejo de las decisiones en sistemas complejos juega un rol muy importante en la dinámica del rodeo y en los resultados productivos y económicos (Turner *et al.*, 2013).

Los resultados demuestran que tanto en PPa como en PPc la integración propuesta de tecnología en ST permitiría incrementar significativamente los índices de preñez de los rodeos de la región de estudio, hasta niveles cercanos a sus potenciales biológicos. La determinación de estos valores críticos y distribuciones de frecuencias que fueron identificadas para cada sistema tecnológico a nivel regional son importante ya que proponen niveles de referencia, que permiten visualizar claramente las metas que un establecimiento ganadero competitivo podría lograr. Asimismo crea un criterio objetivo para aplicar este tipo de tecnologías disponibles cuando sea necesario.

3.3.5.2. Peso Vivo de los terneros a los 215 días de vida.

La variable Peso Vivo (PV) a los 215 días de edad, en el mes de Abril, época del destete tradicional en la región de estudio, permite analizar el grado de eficiencia del crecimiento en el principal producto de venta de estos sistemas preponderantes de cría: el ternero destete. Se encontraron las siguientes (Fig. 43) diferencias por K-W ($p < 0,0001$) entre las medianas de los tratamientos.

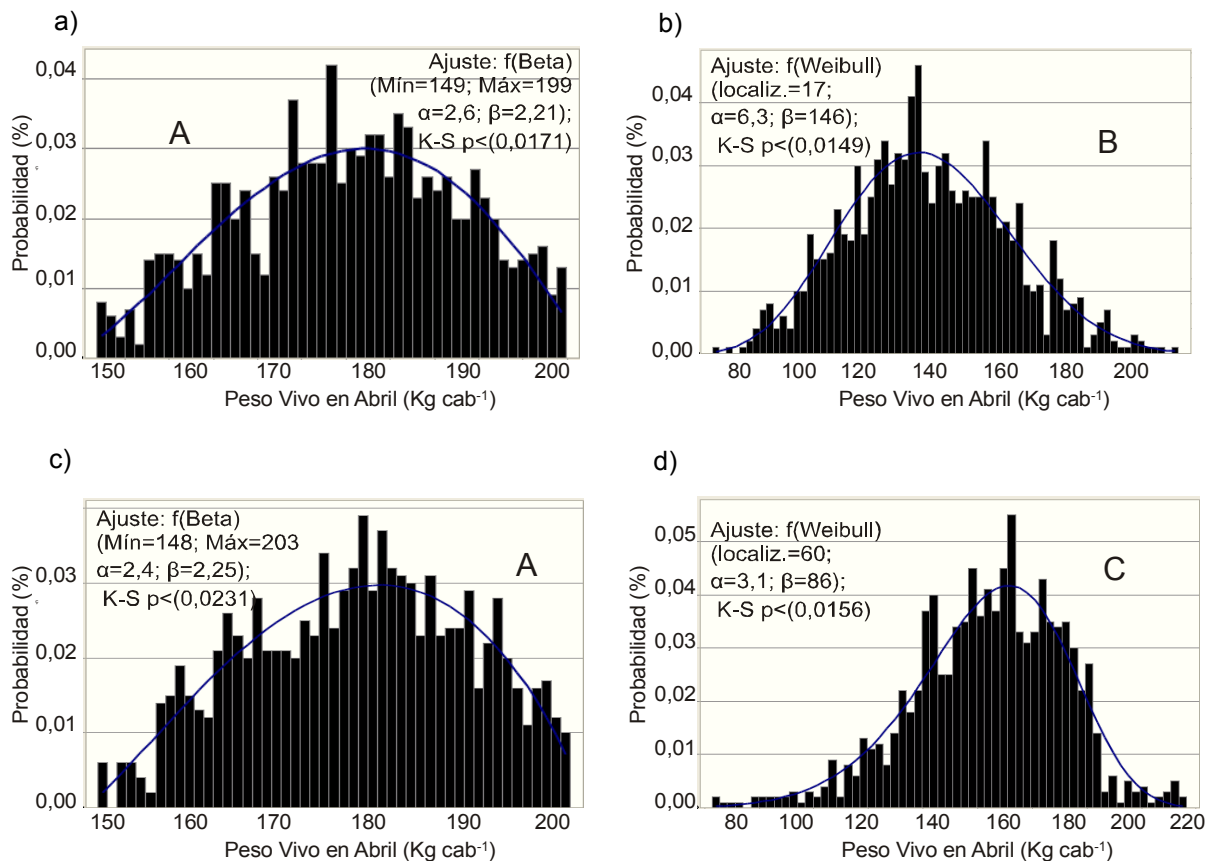


Figura 43. Distribución de frecuencias observada del peso vivo de los terneros a los 215 días de vida, simulado para los cuatro tratamientos evaluados ($n=5000$). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

El PV de los terneros de ST-PPa se situó entre 149 y 199 Kg Cab⁻¹, con una mediana de 174 Kg Cab⁻¹, y SM-PPa entre 77 y 207 Kg Cab⁻¹, con una mediana de 135 Kg Cab⁻¹. En ST-PPc el PV se situó entre 148 y 203 Kg Cab⁻¹, con una mediana de 177 Kg Cab⁻¹; y en SM-PPc entre 79 y 221 Kg Cab⁻¹, con una mediana de 154 Kg Cab⁻¹.

No se encontraron diferencias significativas en el PV alcanzado por los terneros a los 215 días entre ST-PPa y ST-PPc.

Una función beta fue la de mayor ajuste a ST-PPa ($p < 0,0171$) y ST-PPc ($p < 0,0231$), mientras una Weibull lo fue para SM-PPa ($p < 0,0149$) y SM-PPc ($p < 0,0156$). Los CV de estos tratamientos fueron: 6,4%; 16,4%; 5,8% y 116,1 % respectivamente para ST-PPa, SM-PPa, ST-PPc y SM-PPc.

Discusión:

La mediana del PV en ST-PPa fue un 28,8% superior a SM-PPa ($p < 0,0001$) y presentó una menor variabilidad relativa observable en la reducción del 60,9% de su CV. La mejora en la distribución observada de esta variable sería atribuible a la optimización de la nutrición de los terneros de destete precoz a través de un plan de suplementación planificado y ajustado a los requerimientos específicos de los mismos, que permitiría corregir en mayor medida variaciones en la cantidad y calidad de forraje disponible año a año (Phillips *et al.*, 2009). Este hecho permitiría alcanzar en ST terneros más pesados a los 215 días y con mayor estabilidad de los PV entre ejercicios.

Mientras en SM-PPa la menor mediana observada en los terneros de destete tradicional y su mayor volatilidad se vería explicada por la mayor dependencia de su alimentación a la oferta forrajera interanual altamente variable. Una mayor variación en la disponibilidad de la cantidad y calidad de forraje repercute negativamente sobre las GDP de los terneros de destete tradicional, tanto por la limitación en el consumo de nutrientes a partir del forraje, como a partir de una menor disponibilidad de leche por una menor producción de las madres cuando están subalimentadas. En este sentido, la composición de especies utilizadas en la oferta forrajera en SM mayoritariamente de tipo C₃, derivaría en una marcada menor producción de forraje estival y con una mayor variabilidad.

Bourdon *et al.*, (1987a) mencionan que el consumo de leche es el carácter principal que afecta el crecimiento de los terneros en lactancia. Sinclair *et al.* (1994) encontraron en experimentos de destete de terneros con más de 150 días de edad, que cuando estos no reciben ningún tipo de suplementación durante la lactancia, el nivel de la nutrición de la vaca, es el principal factor que influye sobre las GDP de los mismos. Una mejora en la alimentación de las madres se traduce en una mayor producción de leche y de forma directa en una mayor tasa de crecimiento del ternero.

Lusby, (1994) menciona que cuando la calidad o cantidad de forraje que disponen vacas en lactancia es insuficiente, la producción de leche decrece alcanzando niveles inadecuados para cubrir los requerimientos nutricionales de los terneros que se encuentran criando y derivando en las menores GDP de estos

últimos. En este caso la suplementación al ternero permitiría incrementar la energía consumida por los mismos, resultando en un aumento de sus GDP.

Schultz *et al.* (2005) en una parte de su experimento de terneros que se destetarían a dos edades diferentes (2 tratamientos principales), aplicaron suplementación creep feeding al tratamiento 1 de destete temprano, 35 días previos a los 105 días de vida en un primer año y 14 días previos en un segundo y tercer año. Las GDP fueron mayores ($p=0,06$) para el tratamiento 1 en el año 1, más bajas ($p=0,08$) en el año 2, y no se encontraron diferencias en el año 3. La interacción encontrada ($p=0,04$) entre tratamientos x año, fue atribuida a la variabilidad de la calidad de la pastura y a la duración del creep feeding en cada año. Estos autores indican, que los beneficios observados del creep feeding en el año 1 a favor del tratamiento 1, se deberían a un aporte adicional de energía a los terneros cuando la producción de leche de las madres fue insuficiente en ambos tratamientos, debido a una menor calidad de la pastura en ese año de ensayo.

Si bien el objetivo principal de muchos trabajos sobre destete precoz ha sido, sus efectos sobre la reproducción de los vientres, el desempeño del ternero es una variable crítica. No obstante, numerosos estudios se han realizado en las últimas décadas (Fluharty *et al.*, 2000; Schoonmaker *et al.*, 2003), dando evidencia de que cuando se maneja adecuadamente la nutrición de los terneros destetados precozmente entre 60 a 100 días, a través de dietas altamente concentradas y balanceadas, pueden alcanzar ganancias de PV mayores que los destetados tradicionalmente entre 180 a 270 días (Myers *et al.*, 1999b; Wertz *et al.*, 2002).

Los resultados de este trabajo de tesis fueron consistentes con los determinados experimentalmente por otros autores en otras partes del mundo. Myers *et al.* (1999b), encontraron que terneros destetados a corral a partir de una dieta variable con un máximo de 65,90% de maíz partido y 18,44% de harina de soja, a los 90 y 152 días, presentaron mayores GDP, respecto a los destetados tradicionalmente a los 215 días de edad ($p<0,005$; +0,15 y +0,07 Kg día⁻¹, respectivamente). Los vientres con ternero al pie se mantuvieron en pasturas de *Festuca arundinacea* (Schreb) y *Trifolium pratense* L. Los tratamientos destetados tempranamente, redujeron el consumo diario de MS ($p<0,03$) y obtuvieron una conversión alimentaria más eficiente ($p<0,004$), pero incrementaron el consumo total de concentrados ($p<0,03$). Estos autores resaltan que el destete temprano, si bien incrementaría los días a corral y el consumo total de concentrados, permitiría incrementar las GDP, la eficiencia de conversión, reducir el tiempo de engorde de los terneros, como así también mejorar la CC de los vientres y su consecuente tasa de preñez. En función de los costos adicionales y los incrementos en los niveles de producción, la interacción de estos factores en cada tratamiento determinaría resultados económicos diferenciales.

En un estudio de 5 años llevada a cabo por Story *et al.* (2000) con tres edades de destete de los terneros (150, 210 y 270 días) en feedlot con dietas altamente concentradas, demostraron que los terneros destetados anteriormente fueron siempre más pesados hasta los 270 días, alcanzando un peso final de novillito de 369, 331 y 268 Kg Cab-1. Los terneros no destetados y sus madres se mantuvieron bajo una dieta pastoril compuesta por pasturas de *Bromus inermis* inicialmente y posteriormente pasturas *Andropogon gerardii* y *Scroghastrum nutans*.

Neville & McCormick (1981) realizaron un experimento con tres edades de destete de terneros. El primer tratamiento fue el destete tradicional a los 230 días

sobre pastizales de *Cynodon dactylon*. El segundo y tercero fue el destete precoz a los 67 días, en los cuales, el tratamiento 2 consistió en una dieta a corral altamente concentrada, base maíz partido (55%) y harina de semillas de algodón (22%). En el tratamiento 3 se realizó la recría sobre los mismos pastizales de *Cynodon dactylon* con suplementación con los mismos componentes que el tratamiento 2, pero en las siguientes proporciones respectivamente: 78% y 18,4%. Estos autores encontraron que los terneros destetados precozmente a corral y bajo pasturas con un alto nivel de suplementación tuvieron GDP más altas ($p < 0,05$), respecto los de destete tradicional (+0,22 Kg día⁻¹ y 0,20 Kg día⁻¹, respectivamente). Estos resultados fueron similares a las diferencias reportadas en estudios anteriores, con esquemas de alimentación semejantes entre terneros de destete precoz y tradicional por Harvey *et al.* (1975) y Williams *et al.* (1975), de +0,18 y 0,29 Kg día⁻¹ respectivamente. De esta manera, estos autores concluyen que los terneros destetados precozmente pueden alcanzar pesos mayores a la edad de destete tradicional, cuando sus requerimientos nutricionales son satisfechos con precisión.

Si bien la literatura menciona que el engorde de terneros destete precoz en corrales feedlot, se ha vuelto una práctica de altas GDP generalizadas (Fluharty *et al.*, 2000; Wertz *et al.*, 2002; Schoonmaker *et al.*, 2003), la recría de terneros de esta categoría, a partir de pasturas con suplementación, presenta una mayor variabilidad de resultados. Este hecho se relaciona con la variabilidad de la calidad que presenta el forraje en pie de una pastura a lo largo de su ciclo anual y otros factores no nutricionales que afectan e consumo voluntario (disponibilidad relativa, estructura de la pastura, etc), que exige una mayor frecuencia de monitoreo y ajuste de la suplementación correctiva, para lograr una oferta de nutrientes precisa en función de los requerimientos de la categoría animal, que permita alcanzar las GDP potenciales.

Los resultados encontrados en esta tesis, permiten observar que si bien el PV de los terneros a los 215 días en ST-PPa fue superior al de SM-PPa, estos pesos finales podrían ser superiores, en función de los resultados de la literatura citada. Este hecho, estaría indicando que la tecnología aplicada en ST para el manejo de las GDP de los terneros de destete precoz podría ser mejorada aún más, en función de un ajuste más frecuente de la suplementación, que se podría materializar a través de la optimización de las reglas de decisión referidas a las variables relacionadas a la nutrición del ternero. Este hecho pone en relevancia la necesidad de mayor investigación futura para establecer prácticas de manejo que permitan un mejor desempeño de los terneros destetados precozmente, a partir de los recursos forrajeros disponibles o nuevas especies introducidas y su respuesta bajo las condiciones de variabilidad climática de la zona de estudio.

Schultz *et al.* (2005) observaron durante tres años, que el PV de terneros destetados a los 105 días sobre pasturas de *Festuca arundinacea* (Schreb.) y alimentados con una suplementación variable en base a un balanceado (81% TND, 18,1% PB) fueron similares a las observadas en terneros destetados a los 205 días alimentados exclusivamente sobre las mismas pasturas junto a sus madres ($p=0,11$; 234 y 227 Kg cab⁻¹, respectivamente). Las GDP entre los 105 y 205 días tampoco difirieron ($p=0,32$). Estos autores señalan que la suplementación requerida para alcanzar GDP semejantes a las del destete tradicional, al aplicar un destete más temprano, genera costos extras. No obstante, también indican que la valoración de la relación productiva y económica debería realizarse en futuros estudios, que evaluaran el balance de todas las variables modificadas por el destete temprano en

el sistema, como la mayor eficiencia reproductiva, las posibilidades de incrementar la carga, la concentración y adelantamiento de la fecha de parición, etc. En el trabajo de Lusby *et al.* (1981), se resalta que los beneficios del destete temprano sobre la madre se justificarían si se puede llevar adelante una recría de los terneros eficiente y económica.

Los resultados hallados en el presente trabajo de tesis, expresados en distribuciones estocásticas de probabilidad, contribuyen a la generación de este conocimiento, para el caso específico de la región de estudio. Asimismo, ratifican que estas aspiraciones mencionadas en la literatura y difíciles de evaluar en la práctica por ser las resultantes de la interacción de numerosas variables aleatorias (precipitación, oferta forrajera, suplementación, diseño del sistema, etc), pueden ser estudiadas adecuadamente a través de experimentos con variables modeladas y enfoque sistémico como el presente.

Fluharty *et al.* (2000) en un experimento factorial 2x2x2 evaluaron la edad del destete frente a dos dieta altamente energéticas, con el 100 y 120% de los niveles de PB recomendados por NRC (1984), bajo asignaciones fijas programadas y *ad libitum*. Los resultados demostraron que terneras Angus destetadas temprano (100 días) bajo todas las combinaciones de dietas y tipo de asignación fueron siempre más pesadas ($p < 0,001$) que las de destete tradicional (205 días). Estos autores resaltan que el destete temprano y la recría a base de dietas concentradas y equilibradas son una alternativa importante cuando las pasturas se ven limitadas en cantidad y calidad en el periodo de lactancia tradicional.

Lusby *et al.* (1981) encontraron que terneros (Angus x Hereford) de destete precoz (56 días) criados a corral, no presentaron diferencias significativas con los de destete tradicional a los 210 días de edad ($p > 0,05$; 169,8 vs 169,3, respectivamente). Mientras un tercer tratamiento de terneros de destete precoz criados sobre pasturas nativas (*Andropogon scotparlous*, *Andropogon gerardi*, *Sorghastrum nutans*, *Panicum virgatum*, *Cynadon dactylon* y suplementación con tres niveles decrecientes de concentrados al aumentar la edad de los terneros (1: 17,3 %PB y 79,9 TND; 2: 15,5 %PB y 74,4 TND; 3: 12,5 %PB y 69,3 TND) alcanzaron un peso 20 Kg menor ($p < 0,05$) a la misma fecha de destete tradicional. La menor performance de los terneros de destete precoz sobre pasturas fue atribuida a la variabilidad de la calidad de la pastura que influyó sobre el consumo voluntario y consecuentemente sobre la ingesta total de nutrientes.

Meyer *et al.* (2005) demostraron que terneros cruza (Angus × Gelbvieh) destetados a los 90 días respecto a los destetados tradicionalmente a los 174 días, a los cuales posteriormente al destete se les asignó una dieta altamente concentrada a corral, alcanzaron a los 202 días un peso mayor y mejores parámetros de calidad de carne como área de ojo de Bife (*Longissimus Dorsi*) y espesor de grasa dorsal entre la 12° y 13° costilla (271,6 vs. 218,9 Kg; 37,9 vs. 32,3 cm², 0,38 vs. 0,26 cm, respectivamente; $p < 0,001$). Este trabajo provee evidencias de que el destete temprano y el manejo de la alimentación podría ser utilizado como una herramienta para realizar un manejo efectivo en sistemas de cría, para mejora tanto los niveles de producción como la calidad carnicera.

Loy *et al.* (1999) demostraron que la disminución de la edad de destete de 147 días a 67 días, sobre la base de una alimentación altamente concentrada e ininterrumpida hasta el momento de sacrificio, resultó en mayores porcentaje de rendimiento de res ($p < 0,05$). Estudios recientes concuerdan con que a través de

planes de alimentación precisos es posible que terneros destetados precozmente superen a los de destete tradicional, tanto en las GDP, como en atributos de rendimiento y calidad de la res (Myers *et al.*, 1999 a, b y c; Fluharty *et al.*, 2000; Schoonmaker *et al.*, 2002; Wertz *et al.*, 2002).

La mediana del PV de los terneros a los 215 días en SM-PPc se incrementó en un 14% ($p < 0,0001$), respecto a SM-PPa. Esto indicaría que el aumento de la precipitación estivo-otoñal esperada en PPc, su consecuente incremento derivado en la mediana de la producción de forraje en ambas estaciones, principalmente en el verdeo de sorgo, permitiría un incremento en las tasas de crecimiento de los terneros de destete tradicional. Este hecho explica también que la mediana de ST-PPc supere a SM-PPc en una tasa menor (14,8%) ($p < 0,0001$), respecto a la observada entre ST-PPa y SM-PPa.

La variabilidad observada en la distribución de frecuencias de los tratamientos, permite señalar que en ST-PPa y SM-PPa existiría un riesgo de que los terneros alcancen un PV a los 215 días inferior a 150 Kg Cab⁻¹, del 0,9% y 66,1%, respectivamente. Mientras este mismo riesgo en ST-PPc y SM-PPc se sitúa en 0,3% y 40,2%, respectivamente. Cuando se analiza la probabilidad de alcanzar un PV superior a los 180 Kg Cab⁻¹, se observa un 34,4%; 6,1%; 43,4% y 15,95% respectivamente para ST-PPa, SM-PPa, ST-PPc y SM-PPc.

No se encontraron diferencias significativas en el PV alcanzado por los terneros (215 días) entre ST-PPa y ST-PPc. El aumento esperado de la mediana de la precipitación en PPc, con un efecto directo sobre la PPN estival y otoñal, permitiría suponer un incremento de la mediana del PV de los terneros debido a dicha mejora en la oferta forrajera. No obstante, esto no fue así, lo cual remarcaría que la atención a los requerimientos nutricionales mensuales a través de la suplementación estratégica en esta categoría es una herramienta técnica que permite alcanzar altas GDP de manera estable, que determinan FDP muy semejantes para esta variable, entre ST-PPa y ST-PPc.

La relación del PV del ternero en Abril con la PCN de los sistemas presentó los siguientes coeficientes de correlación: ST-PPa ($r=0,69$; $p < 0,001$), SM-PPa ($r=0,80$; $p < 0,001$), ST-PPc ($r=0,67$; $p < 0,001$) y SM-PPc ($r=0,76$; $p < 0,001$). La mayor correlación de esta variable con la PCN observada en SM se vería explicada justamente, en que el ajuste de la nutrición en la recría temprana de los terneros de destete precoz, estabilizaría los resultados interanuales de esta variable, disminuyendo su influencia sobre la variabilidad total de la PCN.

Soares de Lima (2009) encontró a través de un modelo bioeconómico una mayor PCN, tasa de extracción y MB ($p < 0,05$) en sistemas ganaderos de Uruguay que iniciaban la invernada con animales de menor edad. Esto se debería a que el engorde de animales más jóvenes presenta una menor proporción de EM destinada a mantenimiento respecto a la energía total consumida y una mayor eficiencia de conversión alimentaria (Cundiff *et al.*, 1981 y 1984; Gregory *et al.*, 1994; Beretta, *et al.*, 2006).

En un trabajo de Myers *et al.*, (1999a) identifica al peso al destete y a la eficiencia reproductiva (tasa de preñez y tasa de destete) como una de las variables que más repercuten sobre la rentabilidad económica en sistemas preponderantes de cría.

Pang *et al.* (1999) a través del modelo dinámico-determinístico mencionado anteriormente, al simular los efectos de diferentes factores productivos y alternativas de manejo sobre la eficiencia bioeconómica de los sistemas de producción de carne vacuna de Canadá, identificaron al PV de destete de los terneros, como el segundo factor en importancia en la determinación de la PCN.

Beretta, *et al.* (2002 y 2006) reportaron resultados similares cuando analizaron mediante un modelo determinístico, la eficiencia y productividad de sistemas de invernada del sur de Brasil, con diferentes niveles de intensificación de la alimentación, que permitió reducir los periodos de engorde. Dichos autores encontraron que para el nivel de intensificación alta, media y baja, la simulación mostró que los animales alcanzaron el peso de faena a los 18, 30 y 40 meses, respectivamente, con un PCN del sistema de 343, 155 y 84 Kg ha⁻¹ año⁻¹ (p<0,05), respectivamente. Este trabajo resalta la importancia observada, en la cría e invernada de un manejo nutricional tendiente a alcanzar altas y eficientes GDP, para incrementar la PCN del sistema.

3.3.5.3. Carga Animal.

El análisis de los efectos medios sobre la carga animal presentó diferencias (p<0,0001) entre la mediana (K-W) de los tratamientos (Fig. 44).

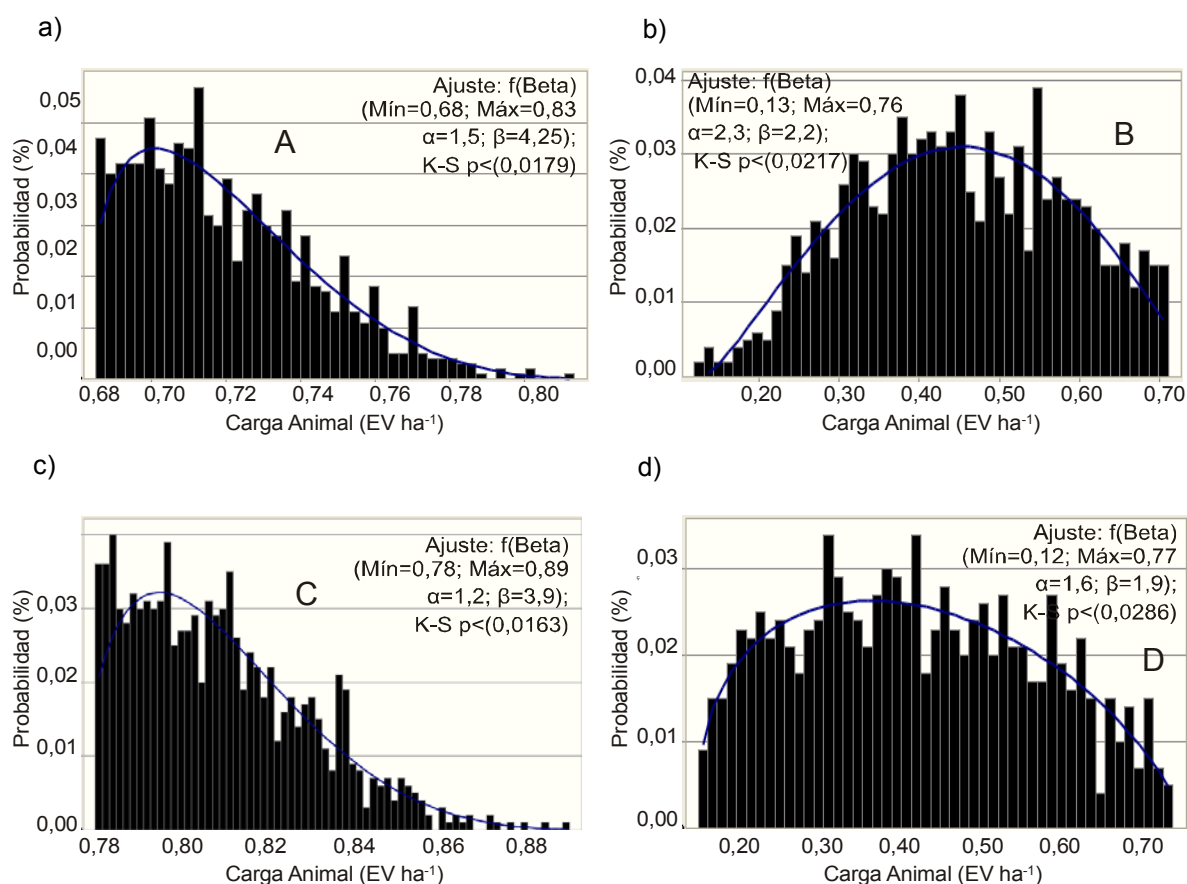


Figura 44. Distribución de frecuencias observada de la carga animal simulada para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). Ajuste de las funciones densidad de probabilidad por método de Kolmogorov-Smirnov (K-S) y parámetros constitutivos de la función. a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la

distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). Letras distintas mayúsculas indican diferencias significativas por test K-W ($p < 0,05$).

La carga observada en ST-PPa varió entre 0,68 y 0,83 EV ha⁻¹, con una mediana de 0,70 EV ha⁻¹; en SM-PPa entre 0,13 y 0,76 EV ha⁻¹, con una mediana de 0,46 EV ha⁻¹; en ST-PPc entre 0,78 y 0,89 EV ha⁻¹, con una mediana de 0,79 EV ha⁻¹; y en SM-PPc entre 0,12 y 0,77 EV ha⁻¹, con una mediana de 0,37 EV ha⁻¹.

Todos los tratamientos demostraron su mayor ajuste a una función beta: ST-PPa ($p < 0,0179$), SM-PPa ($p < 0,0217$), ST-PPc ($p < 0,0163$) y SM-PPc ($p < 0,0286$). Los CV de SM-PPa y ST-PPc fueron del 3,2 y 2 %, respectivamente.

Discusión:

La mediana de la carga entre ST-PPa y SM-PPa se incrementó en un 59,1% ($p < 0,0001$) y en un 88,1% entre ST-PPc y SM-PPc ($p < 0,0001$). Estos resultados serían atribuibles al aumento altamente significativo en la PPN de la superficie ganadera en ST-PPa y ST-PPc en función de las especies forrajeras y proporciones utilizadas. Las variables carga animal y PPN de la superficie ganadera mostraron una alta correlación para cada uno de los cuatro tratamientos: ST-PPa ($r = 0,88$; $p < 0,05$), SM-PPa ($r = 0,76$; $p < 0,05$), ST-PPc ($r = 0,68$; $p < 0,05$), y SM-PPc ($r = 0,85$; $p < 0,05$).

ST-PPc mostró un aumento de la mediana de la carga del 12,9% respecto a ST-PPa ($p < 0,0001$), que estaría explicado por la mayor oferta forrajera de la superficie ganadera en dicho contexto (Fig. 41). Mientras, de manera contraria SM-PPc manifestó una reducción del 19,6% ($p < 0,0001$) frente a SM-PPa, relacionado a la disminución de la PPN de la superficie ganadera que experimentarían los sistemas modales frente a las señales de cambio climático de las lluvias previstos en la zona de estudio (Fig. 23).

El análisis de la variabilidad de la carga animal permiten sostener que en ST-PPa y ST-PPc existiría una probabilidad del 27,3% y 0,0% de experimentar una carga anual inferior a 0,7 EV ha⁻¹; y un 0,41% y 53,2% para una carga superior a 0,8 EV ha⁻¹, respectivamente.

En un extremo opuesto, en SM-PPa y SM-PPc las probabilidades de sostener una carga anual inferior a 0,3 EV ha⁻¹ sería del 14,3% y 24,6%, respectivamente. Mientras que dichas probabilidades para una carga superior a 0,6 EV ha⁻¹ serían del 17,2% y 12,4 %.

La carga animal fue una variable que mostró una alta relación con la PCN. Se encontraron los siguientes coeficientes de correlación: ST-PPa ($r = 0,86$, $p < 0,001$), SM-PPa ($r = 0,74$, $p < 0,001$), ST-PPc ($r = 0,92$, $p < 0,001$) y SM-PPc ($r = 0,69$, $p < 0,001$).

La carga animal de por sí, es una variable fundamental del manejo ganadero, que afecta otras variables importantes como la disponibilidad de forraje, la PCN y el resultados económico (Borsen *et al.*, 1983; Bernardo&McCollum, 1987; Gillen *et al.*, 1992a y b; McCollum *et al.*, 1999). Sin embargo, los desbalances entre la oferta de forraje y los requerimientos nutricionales del ganado, que puede originar un manejo inadecuado de la carga, derivan en que el aumento de la productividad y rentabilidad del sistema, a través de un incremento de la carga animal no resulte un objetivo tan simple de alcanzar (Abdelhadi *et al.*, 2005).

Gillen & McCollum, (1992); McCollum *et al.*, (1999) señalan que los efectos de la carga sobre la disponibilidad de forraje residual son fácilmente visualizables. No obstante, los efectos relacionados al desempeño del ganado y el resultado económico no son tan fácilmente observables. En este sentido, la utilización de modelos para el estudio de la interacción de estas variables bajo distintas configuraciones tecnológicas, permite explotar las fortalezas del enfoque sistémico (Sorensen *et al.*, 1992 b; Bossel, 1994; Skittner, 2001).

Romera *et al.* (2004) encontraron que la carga puede manifestar un impacto significativo, pero la misma se encuentra altamente condicionada por la variabilidad en las condiciones climáticas de cada ejercicio, cómo así también por una gran cantidad de variables productivas como los índices reproductivos, la estabilidad en las tasas de mortandad, las políticas de reemplazo y de descarte de las madres, la edad de venta de los animales, etc.

Guerrero *et al.* (1984); Bransby *et al.* (1988); Gillen *et al.* (1992) resaltan que la carga animal afecta la PCN y el resultado económico de forma diferencial. En un estudio durante 5 años del efecto de la carga animal sobre la PCN y el resultado económico en sistemas de ciclo completo sobre pastizales dominados por *Agropyron smithii* Rydb. en la zona semiárida de Oklahoma, Hart *et al.* (1988) encontraron que con cargas livianas, maximizaban la producción individual de los animales observable en las mayores GDP por cabeza ($p < 0,05$) mientras con cargas más altas se llegaba a un punto ($R^2 = 0,66$) donde si bien las GDP individuales disminuían, se lograba maximizar la PCN del sistema ($p < 0,05$). Estos autores determinaron que el retorno económico máximo se lograba cuando se trabajaba con niveles entre un 55% y 80% de la carga que maximizaba la PCN, debido a que dicho nivel confería una mayor flexibilidad frente a la variabilidad de la producción de forraje interanual y las relaciones de precios de insumos y productos. En este sentido, el remanente de forraje de las parcelas respondía principalmente al nivel de carga animal, pero la producción de forraje al efecto año ($p < 0,05$).

Gunter *et al.* (2005) encontraron que el nivel óptimo económico, se ubicaría entre el 79% y 82% de la carga que maximiza la PCN. Si bien como puede inferirse, este nivel depende de múltiples factores como el tipo de pastura, categoría animal, utilización de las prácticas tecnológicas asociadas (fertilización, suplementación, forma de pastoreo, etc) y los precios relativos de los insumos y productos. Las cargas óptimas determinadas por estudios previos de Gillen & McCollum (1992) de engorde de novillos sobre praderas mixtas de Oklahoma, concuerdan con estos resultados.

Bransby *et al.* (1988) propuso que la función que describe la relación entre la carga y el desempeño animal sería única para cada tipo de especie forrajera.

No obstante, la variabilidad ambiental, principalmente la precipitación determinaría una variación en la producción de forraje que se traduciría en variaciones en los niveles de carga animal óptima para diferentes diseños tecnológicos y años. Este principio deriva en la necesidad, a nivel de los sistemas de producción, de determinar pautas de manejo flexibles que permitan ajustar la carga animal a los niveles de producción de forraje de manera de optimizar la PCN anual. En zona semiáridas estas estrategias cobrarían mayor importancia dada la mayor variabilidad climática. En ciclos donde la PPN de la superficie ganadera es alta, la retención de un mayor número de terneros para recría e internada permitiría aprovechar excedentes forrajeros, mientras en ciclos de baja PPN de los recursos, la

venta al destete sería una alternativa conservadora para minimizar el impacto de situaciones de sequía extrema.

Los resultados hallados en esta tesis sugieren que el aumento de la PPN de la superficie ganadera permitiría un aumento de la carga animal. El aumento de la carga, en la medida que se ajusta en base a criterios racionales de atención a los requerimientos nutricionales de cada categoría animal, derivaría en un aumento de la PCN. Estos resultados encontrados son consistentes con los informados por la literatura científica en este sentido.

Gunter *et al.* (2005) en un experimento factorial 4x3 realizado en Arkansas, evaluaron durante 3 años el efecto de 4 cargas de novillos pastoreando *Paspalum dilatatum* Poir. frente a 3 niveles de fertilización de dicha pastura y encontraron que al aumentar la carga, las ganancias individuales decrecían cuadráticamente ($p < 0,01$) en los tres niveles de fertilización. La PCN en el primer nivel de fertilización se incrementó hasta el segundo nivel de carga y luego descendió cuadráticamente ($p < 0,01$). El mismo comportamiento se observó en el nivel 2 y 3 de fertilización, pero la disminución en la PCN se observó recién a partir del tercer nivel de carga ($p < 0,01$). Estos resultados corroboran que en la medida que se dispone de una mayor PPN de los forrajes u oferta de nutrientes, las cuales estarían asociadas a un mayor nivel de fertilización, se alcanzaría la máxima PCN a un nivel de carga superior. A través de análisis de regresión, la ecuación generada por estos autores para la predicción de la GDP a partir de estos dos factores, logró explicar el 51% de la variación observada ($p < 0,01$). Por cada unidad incremental de carga las GDP se redujeron en $0,034 \text{ Kg día}^{-1}$ ($R^2 = 0,86$). Adjei *et al.* (1980) examinando tres niveles de carga sobre *Cynodon* spp. encontraron una caída de $0,04 \text{ Kg día}^{-1}$ ($R^2=0,94$) por cada unidad de incremento en la carga. Guerrero *et al.*, (1984) en un estudio evaluando cinco variedades de *Cynodon dactylon*, mostraron disminuciones de la tasa de GDP similares frente al aumento de la carga animal ($R^2=0,67$). En segunda instancia, la ecuación generada por Gunter *et al.* (2005) para la predicción de PCN a partir del nivel de fertilización sobre *Paspalum dilatatum* Poir. y la carga animal explicó el 74% de la variación total observada ($p < 0,01$). Estos autores encontraron que por cada unidad de incremento de la carga animal por sobre la carga óptima, la PCN descendió $6,8 \text{ Kg}$ (7,4%) ($R^2=0,91$).

Riewe *et al.* (1961) observó a partir de una revisión de 12 estudios de engorde pastoril de novillos bajo diferentes cargas, que la PCN disminuyó en 0,96 unidades, por cada unidad de aumento en la carga. Posteriormente estos autores (Riewe *et al.* 1962), en un experimento de engorde de novillos sobre *Lolium multiflorum* Lam. y *Festuca arundinacea* (Schreb) con cargas moderadas, encontraron un 68% y 41% de disminución de la PCN por cada aumento de una unidad de carga. Petersen *et al.* (1964) reportó tasas ligeramente superiores a las de Riewe *et al.* (1962). No obstante, estas tasas de reducción informadas en estos trabajos de la década del '60, fueron las más altas que encontramos en la literatura y difieren ampliamente con estudios más recientes como el de Gunter *et al.* (2005).

La respuesta cuadrática de la PCN al aumentar la carga animal encontrada por Gunter *et al.* (2005) mostró que entre el nivel mínimo y máximo de fertilización, la carga que maximizaba la PCN fue un 24% superior. Estos resultados coinciden estrechamente con los de Berg & Sims (1995) que demostraron que frente a un incremento de la PPN de la pastura utilizada se requiere de un aumento de la carga para optimizar la PCN del sistema. Morgan *et al.* (2012) encontraron resultados

semejantes cuando al incrementar la carga de novillos pastoreando verdeos de trigo desde niveles bajos a moderados (1,9 a 3,7 Cab ha⁻¹, respectivamente) observaron que las GDP se reducían linealmente ($p < 0,01$) mientras la PCN aumentaba cuadráticamente ($p = 0,02$).

Morgan *et al.* (2012) expone que la adecuación de la carga animal es una variable fundamental para el manejo eficiente de las pasturas, donde al igual que Bransby *et al.* (1988), existiría una relación distinta entre la carga y el desempeño animal para cada tipo de pastura. No obstante, Morgan *et al.* (2012) demostraron que la interacción con otras tecnologías también modifica las relaciones observadas de forma aislada de los distintos niveles de carga para una especie forrajera. Estos autores encontraron interacción ($p < 0,04$), en un ensayo con diseño factorial 3x3, que combinaba tres formas diferentes de labranza y siembra de un verdeo de trigo con tres niveles de carga animal en el momento de su aprovechamiento. Esto significa que según la combinación de tratamientos, la carga animal manifestaba diferentes efectos sobre las variables productivas.

Los resultados anteriores demuestran que el impacto de la carga animal sobre una forrajera se modifica en interacción con otras tecnologías. Machado *et al.* (2010) en un estudio a través de simulación con el Software (Simugan) evaluaron la eficiencia de un sistema de invernada durante 12 meses, sobre verdeos y pasturas, de terneros destetados en otoño, para la región del Sudeste Bonaerense. El experimento factorial 4x2, comparó 4 niveles de carga animal (150, 170, 190 y 210 cabezas en 100 ha) sin suplementación (SMF0) y con la aplicación de reglas de ajuste de la nutrición a partir de suplementación estival con grano de maíz (SMF1). Las reglas de suplementación con maíz actuaron en distintos niveles de asignación (0,5%; 0,9% y 1,4% del PV) cuando el modelo monitoreó una tasa de desviación negativa entre el PV de cada simulación y el PV objetivo de los animales (0-5%; 5,1-10% y 10,1% o superior, respectivamente). Por otro lado se determinó una segunda regla de decisión, tendiente a capitalizar excedentes forrajeros: la confección de rollos. La misma se aplicó cuando durante el periodo del 15 de diciembre al 15 de febrero el modelo identificó una disponibilidad de forraje media del predio mayor a 3000 Kg MS ha⁻¹ y existía por lo menos, un potrero con más de 3800 Kg MS ha⁻¹. La proporción de animales sin terminar en Febrero se incrementó linealmente ($p < 0,01$) con el aumento de la carga animal en SMF0 y fue cero para todas las cargas animales cuando las reglas de decisión (SMF1) fueron aplicadas. También se encontró interacción carga animal x SMF ($p < 0,05$) para el MB, indicando una asociación positiva y lineal de SMF1 al incrementarse la carga ($p < 0,05$). Asimismo cuando la carga animal aumentó, se incrementó el consumo total de forraje y disminuyó la cantidad de forraje henificado ($p < 0,05$). Los resultados hallados en este experimento modelado coincidieron con los reportados por otros trabajos relacionados (Macdonald *et al.*, 2008). Estos resultados permitieron una comprensión más real de un sistema pastoril de invernada en dicha región, pero también demostraron que existen diferentes alternativas tecnológicas para incrementar la producción y el resultado económico, que reflejan diferentes relaciones de interacción con la carga animal. En este sentido, este trabajo destaca la utilidad de la modelación para estudiar la interacción de múltiples factores presentes en un sistema de producción.

Romera *et al.* (2006) estudiando las consecuencias de tres estrategias de reposición y refugio de un sistema pastoril de cría en la Estación Experimental del INTA Balcarce, mediante un modelo de simulación determinístico (Romera *et al.*,

2004), encontraron variaciones ($p < 0,001$) en la carga animal interanual. En una primera etapa del experimento se eliminó la mayor parte de la variación exógena entre años, a través de la utilización de los parámetros climáticos medios fijos de Balcarce, de la serie de precipitaciones 1970-2000. Frente a este ambiente artificialmente estable, las tres estrategias evaluadas expusieron efectos medios similares, si bien se encontraron diferencias altamente significativas en los desvíos Standard demostrando diferente estabilidad de las mismas.

Cuando se repitió el experimento incluyendo en el modelo una secuencia climática de precipitaciones al azar, de los patrones observados de la región de Balcarce, las estrategias demostraron ser dependientes de la variabilidad ambiental simulada. Estos autores atribuyen este comportamiento a las complejas interacciones entre el medio ambiente y la estrategia de gestión, remarcando que cuando no se tuvo en cuenta la variabilidad climática de esa región, mediante la utilización en todas las réplicas de la simulación, de los parámetros climáticos medios, las diferencias entre las políticas de sustitución observadas fueron exageradas.

Esto indicaría que comparar estrategias de producción bajo únicamente condiciones climáticas medias, puede generar resultados con información incompleta y que debería realizarse solo con fines específicos. Sin embargo, la realización del experimento frente al clima medio, fue igualmente útil para identificar un patrón en los datos, que condujo a aclarar el comportamiento oscilatorio de las tres políticas bajo condiciones estables.

Díaz-Solíz *et al.* (2009) en una simulación de 45 años con el modelo SESS (Díaz-Solíz *et al.*, 2003) para la cría vacuna en el norte árido de México, estudiaron en un diseño factorial (3x5), los efectos de 3 niveles iniciales de carga (125, 250 y 500 EV · 5000 ha⁻¹), mediante la aplicación de 5 estrategias de ajuste de carga animal: a) Control: falta de ajustes de carga siendo la situación de los sistemas modales; b) BCS: reglas de decisión basadas en la evolución de la CC de los vientres; c) Ajustes en la carga a partir de reglas apoyadas en la comparación de las precipitaciones recientes respecto a las medias históricas en la estación de crecimiento de los pastizales (REPLA, PPT 1Y, PPT 2Y). Los tratamientos Control y PPT 2Y (basada en la comparación de las lluvias en los últimos dos años respecto a la media histórica) expusieron los resultados más contrastantes ($p < 0,05$), alcanzando respectivamente, una media de la CC de 2,6 y 5,2 (escala 1 a 9), y de la mortalidad de 75% y 5%, respectivamente.

Estos resultados denotan la importancia de la evaluación de tecnologías y sistemas de producción integrada a la variabilidad climática de una región específica ya que permite incorporar en el análisis los efectos de las relaciones de los procesos productivos biológicos con el ambiente característico donde se llevan adelante.

3.3.6. Análisis de la contribución de la variabilidad de la precipitación estacional sobre la varianza de la PCN.

La Figura 45 expone las variables estocásticas (precipitación estacional) para cada trimestre del año que explicaron en mayor medida la varianza observada de la PCN de cada tratamiento. La contribución porcentual de la varianza, cuantifica la magnitud relativa de los cambios en la variable respuesta frente a variaciones en las variables de entrada.

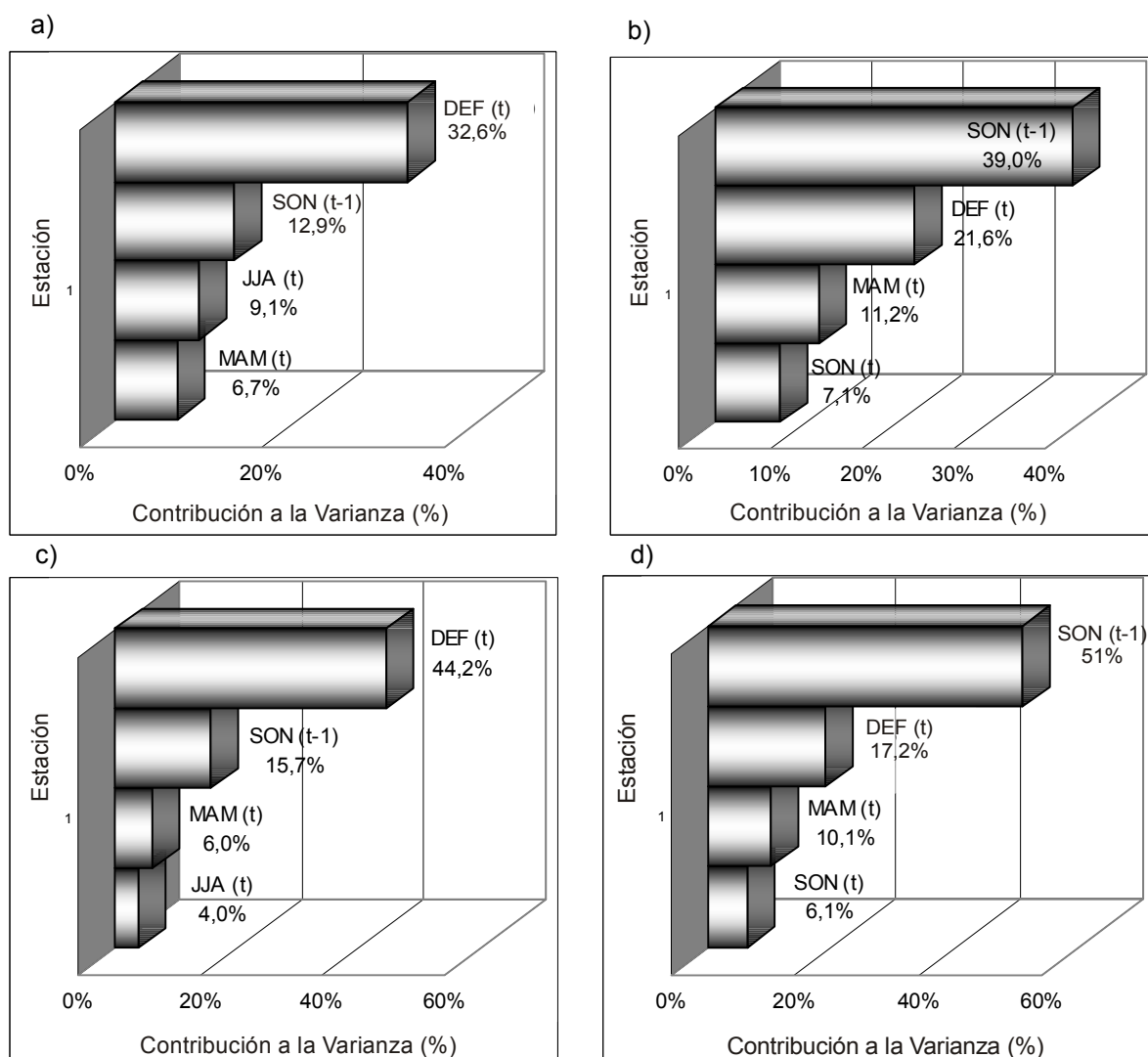


Figura 45. Contribución de la variabilidad de la precipitación estacional sobre la varianza de la PCN para los cuatro tratamientos evaluados (n=5000). a) ST-PPa= Sistema tecnificado (ST) bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). b) SM-PPa= Sistema modal (SM), bajo la distribución de precipitaciones actuales (PPa). c) ST-PPc= Sistema tecnificado (ST), bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc). d) SM-PPc= Sistema modal (SM) bajo la distribución de precipitaciones esperada a partir de las señales futuras de cambio climático global (PPc).

La PCN que cuantifica y registra el modelo es solamente la acontecida en el año 10 por considerarse el periodo en el cual el sistema alcanza la estabilización, que en este apartado llamaremos (periodo t). Mientras la variable precipitación estacional se registra durante los 10 años previos de estabilización simulados (t, t-1, ..., t-9). Se estipuló de esta manera, debido a que la larga duración de los periodos biológicos en los procesos de producción ganaderos, sobre todo de la cría vacuna, determina que existan resultados que se pueden observar en el ejercicio presente, pero responden a situaciones experimentadas en ejercicios anteriores. El caso más representativo de esta realidad es la tasa de parición o destete, que se corresponde con las condiciones nutricionales y de eficiencia del servicio en el ciclo anterior (Bourdon *et al.*, 1987 a) y b); Mathews *et al.*, 2001; Arnade *et al.*, 2003; Romera *et al.*, 2006).

La mayor contribución a la varianza de la PCN en ST-PPa y ST-PPc estuvo conferida por la variable estocástica precipitación DEF (t), por un 32,6% y 44,2%, respectivamente. Es decir por las lluvias ocurridas en verano correspondiente al año 10 (t), de medición de la PCN. Este hecho muestra que las lluvias en el verano serían las que explicarían en mayor proporción la variabilidad de la PCN interanual. Este hecho podría ser atribuido a que en ST, la configuración tecnológica, a partir de un manejo eficiente de la nutrición de los vientres durante todo el ciclo productivo, permite estabilizar robustamente la tasa de preñez del rodeo adulto, reduciendo la alta dependencia de ésta, con la oferta forrajera en primavera, para recuperar la CC de las madres y alcanzar altas tasa de concepción. Por lo cual, la mayor parte de la variabilidad de la PCN estaría dada por otras variables productivas de mayor relación con la producción de los verdeos y pasturas de verano, determinadas por la precipitación en dicha estación. Una mayor precipitación en verano derivaría en una mayor PPN del cultivo de sorgo y *E. curvula* permitiendo una mayor seguridad en la provisión de diferidos para la alimentación de la vaca adulta en una parte importante del otoño e invierno. De esta manera, se dispondría en estas dos primeras estaciones, prácticamente de la totalidad de la PPN de los verdeos de invierno para realizar una mayor retención de terneros a invernarse, permitiendo elevar la carga animal, en línea con un plan de alimentación de esta categoría adecuado. Por otro lado, una mayor producción de sorgo forrajero permitiría asegurar altas ganancias de peso de los terneros de destete precoz durante el verano que redundaría en terneros de alto PV a los 215 días de vida. Estas dos últimas variables, manifestaron una alta correlación con la PCN para los tratamientos bajo análisis ($r=0,86$ y $0,69$, respectivamente para ST-PPa, y $r= 0,92$ y $0,67$ para ST-PPc).

Por su parte en SM-PPa y SM-PPc, la precipitación estacional que mayor efecto tuvo sobre la variabilidad de los niveles de producción interanuales fue SON (t-1), es decir las lluvias de la primavera del ciclo anterior, manifestando un 39% y 51% de contribución a dicha varianza, respectivamente. Esto podría ser explicado por la mayor importancia relativa que mostró la tasa de preñez en los sistemas modales ($r=0,77$ y $0,82$ respectivamente), teniendo en cuenta que el periodo de servicio es temporalmente, coincidente con dicha estación en los sistemas regionales. El manejo deficiente de la nutrición de la vaca de cría durante todo el ciclo anual, derivaría en una mayor dependencia del índice de preñez con la oferta forrajera primaveral.

Los resultados de la contribución de la varianza a la PCN, fueron consistentes y apoyan aspectos estudiados en mayor profundidad para cada variable individual en cada tratamiento, previamente. Asimismo, permiten visualizar la alta capacidad del diseño tecnológico para modificar el grado de repercusión de la precipitación de una determinada estación sobre la productividad ganadera de un sistema en una región. En este sentido, frente a las condiciones de cambio climático esperado para el futuro cercano en la zona de estudio, con una disminución de la precipitación de primavera y un aumento de la precipitación estival, se resalta que la adopción de tecnología en ST reduciría la contribución a la varianza de la precipitación de la estación primaveral sobre la PCN, permitiendo mitigar los posibles efectos negativos de reducciones en dichos niveles de lluvias. Asimismo, permite incrementar los efectos positivos de un aumento de la precipitación estival esperada, demostrando que la tecnología cumple un rol fundamental en la optimización del aprovechamiento de la distribución de la precipitación característica de una determinada región, para la producción ganadera.

4. SÍNTESIS Y CONCLUSIONES

4.1. Síntesis y discusión general

El primer Objetivo específico de esta tesis fue cuantificar y comparar la distribución de la precipitación anual, estacional y de ocurrencia de anomalías dentro del área de estudio (Partido de Bahía Blanca y Cnel. Rosales) y determinar el grado de homogeneidad espacial.

En relación a este objetivo, los resultados obtenidos permiten concluir que la zona de estudio presenta una alta homogeneidad en el comportamiento de la precipitación, donde solo se identificaron pocas diferencias en los niveles de riesgo de esta variable, entre algunos parajes y de baja magnitud. Estas conclusiones, se sustentan en que se encontraron diferencias con un nivel de significancia ($p < 0,0001$) en la precipitación anual media de los últimos 42 años entre algunos sitios, aunque la magnitud de dichas diferencias fue relativamente baja, con un máximo de 21% entre las localidades de los extremos: Alférez San Martín en el Sudoeste y Carrindanga Norte en el noreste. Las diferencias encontradas entre algunos otros sitios fueron inferiores al 14,8%. Por otro lado, no se encontraron evidencias de diferencias en las pendientes de las tendencias lineales de la precipitación anual entre ningún sitio, si bien Napostá Norte y Las Oscuras obtuvieron un nivel de significancia muy cercano al nivel de rechazo ($p < 0,0567$).

La distribución de la precipitación estacional ajustó mejor, para todas las estaciones (Verano, Otoño, Invierno y Primavera) y sitios (10 localidades de medición) a una función gamma con un nivel de significancia mínimo de ($p < 0,0481$, K-S), lo cual es consistente con la literatura climatológica, en cuanto a la asimetría del comportamiento de esta variable en periodos de tiempo menores al anual (Ven Te, 1994). Solamente encontramos diferencias ($p < 0,044$) en la precipitación mediana (K-W) del verano y sólo entre algunos sitios. La máxima diferencia encontrada fue entre Carrindanga Norte respecto a Las Oscuras (+24,3%). Mientras para las tendencias lineales de la precipitación estacional, sólo encontramos diferencias significativas de la pendiente en el otoño donde todos los sitios manifestaron una tendencia negativa mayor a -1. Finalmente, la frecuencia de ocurrencia anual de anomalías húmedas y secas, manifestaron diferencias significativas entre algunos sitios para algunas intensidades. Sin embargo, las diferencias encontradas entre sitios no superaron un nivel de cuatro puntos porcentuales.

Cuando se buscó asociar los sitios en función de semejanzas progresivas entre todas las variables de precipitación estudiadas, a través de un análisis multivariado de conglomerados, los primeros dos grupos en distinguirse fueron, por un lado, los 5 sitios ubicados en la zona costera y por otro, los 5 ubicados en la zona más lejana a la costa y de mayor altitud. Estos resultados fueron consistentes con la literatura climatológica donde la variable altitud estaría relacionada a patrones diferenciales en el comportamiento de las precipitaciones (Peck & Brown, 1962; Hartmann, 1994; Shafer *et al.*, 2006).

Los resultados hallados en esta tesis implican que para el estudio de evaluación del riesgo productivo y económico tanto de Sistemas agropecuarios modales como de Sistemas tecnificados se podría considerar a dicha región como un territorio con una alta homogeneidad relativa de las lluvias, apto para dichos fines. No obstante, las ligeras diferencias internas encontradas y el nivel de detalle

de la información generada sobre el comportamiento de la precipitación específica para cada sitio, podrían ser utilizadas en el futuro para la aplicación práctica y/o estudios de mayor detalle con disminución de escala (down scaling) y/o optimizar el ajuste de los sistemas de producción a la función densidad de probabilidades de las lluvias propias de cada sitio.

Los segundos objetivos fueron, en primera instancia, evaluar la existencia de evidencias de cambio climático en la distribución de la precipitación de la región de estudio, hasta el presente y cuantificar su nivel del cambio. En segunda instancia, a partir de los MCG mundiales más confiables en la actualidad estudiar el comportamiento esperado en la distribución de la precipitación en respuesta al CCG para el futuro cercano, hasta el 2050.

En relación a estos, detectamos cambios marcados a partir del análisis de tendencias por medias móviles de 11 periodos mensuales y polinómica de cuarto orden para el periodo 1860-2011. En el primer caso se evidenció un comportamiento cíclico de la precipitación anual en periodos húmedos y secos de una duración de 20 a 40 años desde el inicio del registro (1860), los cuales, a partir de finales de la década de 1960 incrementaron marcadamente sus niveles máximos en la fase húmeda y los niveles mínimos en la fase seca, alcanzando niveles no observados nunca antes en el registro histórico. La tendencia polinómica también sugirió el inicio de un punto de inflexión en la década de 1960 con una tasas de cambio entre 1960 a 1990 muy altas (pico de $2,55 \text{ mm año}^{-1}$). Asimismo, a partir de este punto de inflexión visualizado, detectamos diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$) entre las medianas de la precipitación anual de los periodos 1860-1960 y 1961-2011 (+28,9 %, 139 mm). Las FDP determinadas permitieron identificar que la distribución de precipitaciones en la centuria 1860-1961 exponía un riesgo del 11,6% y del 7,7% de presentar un ejercicio con una precipitación menor a 450 mm y mayor a 750 mm, respectivamente mientras que en el periodo (1961-2011) dicha probabilidad fue del 39,3% y 26,6 % para los mismos niveles, respectivamente. Posteriormente verificamos que dichos cambios en la precipitación anual estarían principalmente explicados por aumentos del 45 % ($p < 0,0009$) en la precipitación estival y del 27 % ($p < 0,0022$) en la primavera, sin encontrarse diferencias para el otoño e invierno.

Estos resultados hallados nos permitieron confirmar la Hipótesis (2a), identificando que el fenómeno de CCG habría impactado en la distribución de la precipitación hasta el presente, a través de un incremento de las precipitaciones en las estaciones de verano y primavera que derivaron en aumentos de la media acumulada anual en la región de estudio, en los niveles cuantificados. La literatura científica revisada en este tipo de estudio, para grandes regiones de Argentina o regiones vecinas, fue mayoritariamente coincidente con estos resultados encontrados.

Respecto al Objetivo (2b), la metodología empleada de evaluación de escenarios climáticos futuros, a través del ensamble confeccionado de 8 de los principales MCG de mayor importancia en la actualidad, anidados al MCR WRF, nos permitió estudiar las proyecciones de impacto del CCG sobre la distribución de las precipitaciones en la zona de estudio en el futuro cercano (2012-2050) para un escenario A2 (IPCC, 2007). Esta metodología basada en el modelado numérico, ha demostrado en distintos estudios internacionales un alto grado de precisión en términos estocásticos, para detectar patrones de repetición de periodos húmedos y

secos y del comportamiento de la precipitación, entre otras variables climatológicas (Solman *et al.*, 2007, Nuñez *et al.*, 2008; Marengo *et al.*, 2009; Cabré *et al.*, 2012).

La salida modelada por el ensamble para el periodo 1961-2011 del clima presente, verificó una alta bondad de ajuste con dicho periodo histórico real, observable en un coeficiente de correlación del 98% ($p < 0,0001$) entre ambas FDP. Asimismo, la Prueba K-W entre las medianas de ambas funciones de probabilidad de la distribución de las lluvias, no encontró evidencias de diferencias entre las medianas con un alto nivel de significancia ($p > 0,60$). Esto indicaría que la capacidad del ensamble fue adecuada para reproducir las características generales del clima como la variabilidad estacional y anual de la precipitación en la región de estudio.

La tendencia de medias móviles (11 periodos) de la precipitación anual expuso que el comportamiento cíclico de fases húmedas y secas observado en el periodo histórico se continuaría en el futuro cercano manteniendo la duración observada (cada 20 a 40 años). No obstante, se visualizó un nuevo incremento de los picos mínimos y máximos de los ciclos secos y húmedos respectivamente, superior incluso al observado en 1961-2011. La tendencia polinomial utilizada (sexto orden) mostró que la tendencia al incremento de la precipitación media anual iniciado en la década de 1960, sería factible que se continuara hasta 2050 si bien con una la tasa de cambio ligeramente menor ($2,17 \text{ mm año}^{-1}$).

Las FDP determinadas para el periodo modelado (2012-2050), nos permitió identificar un incremento ($p < 0,0001$, K-W) del 20,9% (130 mm), 24,5% (148 mm) y 55,9% (337mm) de las medianas respectivamente, para los periodos previos: (1961-2011) observado, (1961-2011) modelado y (1860-1960) observado. A su vez las mismas funciones mostraron que existiría una probabilidad de alcanzar niveles de precipitación menores a los 450 mm y mayores a los 750 mm del 3,56% y 45,3%, respectivamente.

Este comportamiento sería razonable en función del incremento de las temperaturas medias planetarias esperado en el escenario climático de simulación (A2) hasta el 2050 (Krüger *et al.*, 2012). Asimismo, la relación observada en la serie histórica estudiada (1860-2011) corroboró un patrón de aumento de la precipitación media anual en la región de estudio, a medida que se incrementaron las temperaturas medias del planeta (Nuñez *et al.*, 2008).

En cuanto a la distribución de la precipitación estacional para el periodo 2012-2050, el verano manifestó un incremento de la mediana ($p < 0,0001$) del 98,3% (128 mm), 36,3% (69 mm) y 37,7 (71 mm) respecto a las acontecidas en los periodos (1860-1960) y (1961-2011) observados y la estimada por el mismo ensamble para el periodo (1961-2011) modelado, respectivamente. En el otoño también se observaron aumentos ($p < 0,0001$) de un 74,4% (102 mm) y 43,9% (73 mm) y 59, % (89 mm) para los mismos periodos, respectivamente. Para la primavera se evidenció una reducción de la mediana ($p < 0,0015$) del 11,2 % (12 mm) en el periodo (1961-2011) observado, pero no se encontraron diferencias significativas con el periodo histórico de (1860-1960).

Asimismo, se observó un incremento marcado en el nivel de variabilidad de la precipitación en primavera en el periodo (2012-2050) semejante al observado históricamente en el periodo (1860-1960), donde el intervalo de confianza (95%) de los niveles de precipitación primaveral transicionó de [129; 449] mm en (1961-2011) a [9; 313] mm en (2012-2050), lo cual se puede interpretar como un desplazamiento

hacia cantidades menores de lluvia en primavera, que se encuentra en línea con la disminución de la mediana observada.

Estos resultados hallados, conjuntamente con la validez observada del ensamble para la predicción del clima presente, permitieron cumplimentar el objetivo 2b) suscitado por la Hipótesis respectiva. Los mismos reúnen evidencia para señalar que en la región de estudio la evolución del CCG esperada bajo escenario de cambio climático A2, haría factible experimentar en las próximas décadas (2012-2050) un incremento en la precipitación anual dado por aumentos de las lluvias de verano y otoño más que proporcionales a la reducción que cabría esperar durante el periodo primaveral.

Si bien estos resultados fueron también altamente consistentes con la literatura científica de este tipo de estudios para macroregiones del sur de Sudamérica, pensamos que será necesario en el futuro cercano, continuar los estudios para ir constatando los resultados analizados y predichos en esta parte del presente trabajo, con el avance del tiempo y del desarrollo de los MCG.

Por otro lado, la alta congruencia de los resultados modelados con los históricos observados muestra la utilidad de este tipo de herramientas matemáticas estocásticas para la generación de escenarios climáticos regionales con una base científica lógica. Estas herramientas permiten el análisis anticipado de los posibles impactos sobre las actividades humanas, para generar planes de contingencia, de adecuación tecnológica o mitigación de los cambios factibles en el comportamiento de las variables climáticas.

En el caso de la región de estudio, se infiere que de concretarse los cambios cuantificados en este trabajo sobre la distribución estacional de la precipitación, los mismos generarían un alto impacto sobre los sistemas de producción, con serias consecuencias económicas y productivas en un gran número de explotaciones actuales. Principalmente, los cambios referidos a la reducción de las lluvias primaverales, de las cuales las producciones regionales son altamente dependientes. Es por ello que suponemos que estas posibles variaciones, ya identificadas con antelación, servirían para generar y ajustar en los próximos años estrategias tecnológicas de mitigación de los efectos negativos de dichos cambios factibles desde una perspectiva científica.

Finalmente, el Objetivo (3a) de esta tesis fue desarrollar un modelo de simulación bioeconómico que permitiera analizar la respuesta productiva de los sistemas ganaderos del área de estudio, en función de la distribución de las precipitaciones específica de esta zona. De esta manera, la integración de estas relaciones en un modelo de simulación permitiría evaluar en términos estocásticos el riesgo productivo y económico actual del sistema modal de la región caracterizado por un bajo nivel tecnológico, respecto a uno propuesto para mejorar la sustentabilidad regional de mayor tecnología.

En segundo lugar, a partir de las FDP determinadas para el escenario climático (2012-2050) el Objetivo (3b) fue analizar el impacto de dicho cambio climático previsto sobre el riesgo productivo y económico de los dos sistemas agropecuarios bajo estudio: SM y ST aplicando el mismo modelo bioeconómico desarrollado, que se denominó Modelo Bahía Blanca Cnel Rosales (MBBCR).

Las FDP de la precipitación determinadas en los primeros dos objetivos de esta tesis, permitieron conferir al modelo, a través del muestreo aleatorio, de una componente estocástica relacionada a la precipitación estacional.

Las regresiones encontradas entre la precipitación estacional y la PPN de los recursos forrajeros zonales representativos, habilitaron la estimación de la evolución de la oferta forrajera en el tiempo. En tercer lugar, la utilización de distintas ecuaciones de producción animal validadas por la literatura científica (CSIRO 2007), admitieron la estimación de distintas variables productivas para las configuraciones tecnológicas de SM y ST. Esta integración nos permitió analizar el comportamiento de las variables de producción de ambos sistemas ganaderos, en función de la totalidad de la variabilidad de la precipitación en la región de estudio.

La bondad del ajuste de MBBCR para estimar los niveles de producción fue moderadamente alta para los sistemas modales y muy alta para los tecnificados, alcanzando respectivamente un coeficiente de determinación de 89,13% y 96,86%. Asimismo, la pendiente de la recta de regresión entre los datos observados y simulados, tanto para los sistemas modales como tecnificados, no difirió de la línea de bisectriz, ($p > 0,4795$) y ($p > 0,3805$), respectivamente. Esto significa que la capacidad del modelo bioeconómico para reproducir los niveles de productividad de los sistemas zonales en función de sus configuraciones tecnológica y de las lluvias producidas sería adecuado, y por lo tanto permitiría un nivel de certeza procedente, para los experimentos realizados posteriormente. Resultados semejantes fueron hallados cuando se examinó la bondad de ajuste para el MB, observándose coeficientes de determinación de 83,71% y 94,22%, respectivamente.

Las medianas de la PCN de las distribuciones estocásticas de los distintos tratamientos mostraron diferencias ($p < 0,0001$, K-W), siendo sus valores, en orden decreciente: 147, 112, 42 y 38 Kg ha⁻¹ año⁻¹ para ST-PPc, ST-PPa, SM-PPa y SM-PPc. Estos resultados estarían indicando que el diseño tecnológico mejorado permitiría un incremento marcado en la productividad regional respecto al sistema modal, tanto bajo los patrones del clima actual (+166%), como frente al comportamiento futuro esperado en función de las señales de cambio climático (+255%). Los niveles de riesgo hallados para cada sistema tecnológico y escenario climático también fueron contrastantes, donde la probabilidad de experimentar niveles de PCN por debajo de los 70 Kg ha⁻¹ año⁻¹ en ST-PPa fue tan solo del 0,03%, mientras para SM-PPa la probabilidad de superar este nivel sería solamente de un 1,37%. La diferencia entre ST-PPc y SM-PPc se haría más marcada aún, debido principalmente a que los cambios esperados en la distribución de la precipitación estacional, con un aumento de las lluvias de verano y otoño, manifestarían un efecto directo positivo sobre la PPN de la superficie ganadera de ST. Esto se explicaría debido a que la superficie de estos sistemas se encuentra compuesta por una mayor proporción de especies C₄ (60% vs 14%), que presentaron una mayor tasa de respuesta a los aumentos en la precipitaciones en dichas estaciones. Los SM por su parte, se verían perjudicados a partir de la caída visualizada en las precipitaciones primaverales, dado que los mismos, poseen una oferta forrajera con una mayor proporción de especies C₃ (86%) y de baja tolerancia a la sequía. Mientras, si bien ST posee un 40% de recursos forrajeros C₃, el 30% de la superficie ganadera estaría compuesto por Agropiro, una especie que mostró una alta tolerancia a la erraticidad de lluvias propias de esta región.

Los recursos forrajeros C₃: *Stipa tenuissima*, *Avena sativa* cv Cristal y *T. ponticum* cv. Tobiano INTA, mostraron una disminución de la mediana de su PPN frente al cambio climático evaluado, en el orden del 19,5%, 24,1%, 9,7% ($p < 0,0001$), respectivamente. Mientras los recursos C₄: *Eragrostis curvula* cv Tanganyika, y Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701 manifestaron un incremento de la PPN del 16,6% y 30,3%, respectivamente, bajo las mismas condiciones. La literatura científica revisada, sustentó ampliamente el mayor ajuste de las especies C₄ respecto a las C₃, en ambientes con altas temperaturas en la estación cálida, con sequías periódicas y aumento de las precipitaciones estivales.

La diferente composición de recursos forrajeros en ST y SM, derivó en que la PPN anual de la superficie ganadera en cada sistema tecnológico expusiera un incremento del 182% para ST-PPa respecto a SM-PPa y del 292% para ST-PPc respecto a SM-PPc. Este hecho demuestra el alto impacto de esta tecnología de procesos en la región. El coeficiente de correlación de la PPN de la superficie ganadera con la PCN fue en ST-PPa: $r=0,68$ ($p < 0,001$), SM-PPa: $r=0,79$ ($p < 0,001$), ST-PPc: $r=0,66$ ($p < 0,001$) y SM-PPc: $r=0,74$ ($p < 0,001$) corroborando nuevamente la relevancia de la tecnología de proceso de producción primario en este tipo de ambientes.

Los resultados obtenidos referidos a la PPN estacional de los forrajes evaluados aportan elementos básicos para la presupuestación de la oferta de nutrientes para el ganado y para el desarrollo de cadenas forrajeras estratégicas en la región, a través de la combinación de diferentes recursos y alternativas de manejo.

La tasa de preñez de los vientres adultos manifestó una gran estabilidad en ST-PPa y ST-PPc con niveles que oscilaron entre el 93% y 100% de preñez sin encontrarse diferencias significativas (K-W) entre las medianas (97,5% y 98% respectivamente). En contraposición, encontramos diferencias en las medianas ($p < 0,0001$, K-W) de los sistemas tecnificados respecto a los modales: SM-PPa y SM-PPc (67% y 56% respectivamente). Estos resultados fueron consistente con datos experimentales de la literatura científica, que demostraron que tanto un manejo nutricional adecuado de los vientres durante todo el ejercicio, como la utilización del destete precoz de manera sistemática, permitiría estabilizar altos niveles del índice, respecto a sistema donde el manejo nutricional se encuentra sujeto a la variabilidad de la oferta forrajera sin ningún tipo de ajuste y se lleva adelante un destete superior a los 215 días de vida de los terneros.

El Peso Vivo de los terneros a los 215 días de edad mostró diferencias ($p < 0,0001$) entre ST-PPa y SM-PPa (174 y 135 Kg Cab⁻¹ respectivamente) y entre ST-PPc y SM-PPc (177 y 154 Kg Cab⁻¹ respectivamente). Estos resultados también fueron consistentes con la literatura científica que revisamos al respecto, demostrando que cuando se realiza un plan nutricional ajustado a los requerimientos específicos, a través de la suplementación estratégica de los terneros de destete precoz, los mismos alcanzan un alta performance productiva. La misma es normalmente superior a la observada en terneros en lactancia tradicional, cuando su desempeño productivo queda determinado exclusivamente por la variabilidad de la oferta forrajera derivada de la distribución aleatoria de la precipitación. En el caso de la zona de estudio, la alta magnitud de la variabilidad climática, mostró un amplio nivel de variación en el PV de los terneros de destete tradicional a los 215 días en los sistemas modales.

La carga animal demostró ser una herramienta altamente útil para optimizar la PCN del sistema a partir de la variabilidad interanual de la PPN de la superficie ganadera, cuando fue manejada bajo criterios y reglas de decisión racionales, basadas en el balance de la oferta y demanda de nutrientes. En este sentido, encontramos una mayor relación de ambas variables en ST, donde las pautas de determinación de incremento de carga estuvieron sustentadas por la aplicación de criterios que contemplaron un apropiado manejo de la alimentación de los terneros a invernarse en cada año; ST-PPa: $r=0,86$ ($p<0,001$), SM-PPa: $r=0,74$ ($p<0,001$), ST-PPc: $r=0,92$ ($p<0,001$) y SM-PPc: $r=0,69$ ($p<0,001$). Se encontraron diferencias ($p<0,0001$) entre todos los tratamientos siendo las medianas para ST-PPc, ST-PPa, SM-PPa y SM-PPc de 0,79; 0,70; 0,46; 0,37 EV ha⁻¹, respectivamente. El mismo estuvo principalmente explicado por los aumentos de la PPN de la superficie ganadera para dichos tratamientos con ST-PPa: $r=0,88$ ($p<0,05$), SM-PPa: $r=0,76$ ($p<0,05$), ST-PPc: $r=0,68$ ($p<0,05$) y SM-PPc: $r=0,85$ ($p<0,05$).

El comportamiento del MB siguió una misma tendencia de orden que la PCN, donde las medianas de los cuatro tratamientos también presentaron diferencias ($p>0,0001$; K-W), ubicándose en 812, 602, 104 y 69 \$ha⁻¹ para ST-PPc, ST-PPa, SM-PPa y SM-PPc respectivamente. Las mayores diferencias entre el MB respecto a la PCN de cada par de tratamientos estaría explicado justamente, por un aumento de los ingresos netos más que por una proporcionalidad con los costos directos. Cuando analizamos los niveles de riesgo de cada distribución de probabilidad observamos que ST-PPa mostró un menor riesgo de presentar MB negativos (4,9%) respecto a SM-PPa (32,4%) y una mayor probabilidad (31,2% y 6,6% respectivamente) de alcanzar MB superiores a un nivel de 800 \$ ha⁻¹. Por su parte, ST-PPc presentó una probabilidad de 2,94% de alcanzar MB por debajo de cero y del 52% de superar los 800 \$ ha⁻¹, respecto a SM-PPc donde las mismas probabilidades se ubicaron en el 53,1% y 4,2% respectivamente.

La seguridad de las actividades humanas conlleva a la necesidad de detectar patrones y predecir los ciclos naturales que afectan las condiciones climáticas de una región en particular, como los verificados en este trabajo. Asimismo, su efecto sobre la actividad biológica en el contexto espacial donde las mismas acontecen, sobretodo en los sistemas de producción agropecuarios.

El modelado numérico ha permitido en términos estocásticos aproximaciones con un alto grado de precisión a los sucesos climáticos naturales en numerosas regiones (Christensen *et al.*, 2007; Nuñez *et al.*, 2008) pero también de eventos biológicos observados (Woodward *et al.*, 2008). Dado que el fenómeno de sequía es uno de los factores que mayor limitación ejerce sobre la producción agropecuaria a nivel mundial, los resultados hallados en este aspecto se consideran de gran importancia.

El modelo bioeconómico utilizado permitiría en el futuro anidar submodelos relacionados al comportamiento y grado de conservación de los recursos naturales utilizados. Warren (2010) menciona que la sustentabilidad en sistemas localizados en regiones de alta susceptibilidad a la erosión eólica, con características semejantes (Buschiazzo *et al.*, 1999; Panebianco & Buschiazzo *et al.*, 2008) a los que estudiamos en la presente tesis, se podría sintetizar en un balance neutral de la cantidad de suelo que entra y sale del sistema.

Estudios como los de Colazo & Buschiazzo (2010) demuestran que las pérdidas de sustentabilidad por erosión eólica en la región semiárida central

argentina, serían superiores a las observadas en otras regiones del mundo con significativamente menores niveles de precipitación, como el desierto de Sahel (Warren, 2007), y que dichos niveles de erosión continuarán estables hasta como mínimo el año 2020.

Por tal motivo la inclusión de nuevos submodelos o subrutinas a MBBCR, permitiría estudiar otros aspectos de la producción de los sistemas regionales, relacionados a la conservación de los recursos, como la susceptibilidad a la erosión eólica mencionada.

Asimismo, se visualiza de sumo interés la evaluación e integración de modelos fisiológicos de crecimiento vegetal diario existentes en la literatura científica moderna (Berger *et al.*, 2013) y su calibración a la respuesta de los recursos forrajeros regionales. De esta manera se podría estimar en un intervalo diario las tasas de crecimiento de los distintos forrajes a partir de múltiples variables climáticas y edáficas, que seguramente permitirían incrementar la precisión de MBBCR en las subrutinas de PPN.

4.2. CONCLUSIONES GENERALES

El objetivo general de esta tesis fue evaluar el impacto del CCG sobre el comportamiento de las precipitaciones en los partidos de Bahía Blanca y Cnel. Rosales para posteriormente, generar un modelo predictivo bioeconómico. En base a ello estudiar la respuesta productiva y económica de la aplicación de distintos niveles de tecnología sobre las empresas ganaderas de la región, en función de la distribución de la precipitación del clima actual y frente a las señales de cambios observadas a partir de la evolución del CCG.

El impacto del CCG sobre el comportamiento de las precipitaciones en los partidos de Bahía Blanca y Cnel Rosales se pudo verificar. Asimismo, cuantificar la existencia de un patrón de incremento de la precipitación media anual y de las lluvias en las estaciones de primavera y verano hasta el presente, relacionado al calentamiento global. El origen del mismo fue coincidente con lo reportado por la literatura, en otras regiones del mundo, a partir del aumento de la tasa de incremento de la temperatura media del planeta a partir de finales de la década de 1960, por aumentos en la concentración de los gases de efecto invernadero (Santer *et al.*, 1996; Tett *et al.*, 1996; Hegerl *et al.*, 1997; Christensen *et al.*, 2007; Marengo *et al.*, 2010). La utilización de metodología moderna, basada en modelos climáticos de circulación global de la atmósfera anidados a modelos de circulación regional para el estudio de las señales de cambio climático futuro permitió identificar patrones de cambio hacia una tendencia al aumento de la precipitación media anual y de las estaciones de verano y otoño, con una reducción de las precipitaciones de primavera para el futuro cercano (2012-2050), bajo el escenario de cambio climático A2. Dicha metodología, mostró una adecuada bondad de ajuste para representar la precipitación del clima presente para la región de estudio, por lo que este hecho contribuye positivamente en mejorar los niveles de confianza en las predicciones futuras desde una perspectiva científica. Los resultados hallados fueron muy consistentes con otros estudios reportados en la literatura científica para Sudamérica (Solman *et al.* 2007; Nuñez *et al.* 2008; Marengo *et al.* 2009; Cabré *et al.* 2012).

En relación a la generación y validez de un modelo predictivo para estudiar la respuesta productiva y económica de la aplicación de distintos niveles de tecnología

sobre las empresas ganaderas de esta región, el modelo MBBCR relacionó y simuló con adecuada razonabilidad dicho desempeño productivo y económico, a partir de la precipitación estacional en explotaciones de la región que contaban con registros históricos, en un amplio espectro de situaciones. Además, los resultados generados estuvieron dentro de un rango lógico y comparable a los reportados para sistemas semejantes por la literatura referida a la zona de estudio (Saldungaray, 2000; Gargano et al., 2000, Chimeno et al., 2001; Saldungaray et al., 2011).

El modelo integró funciones matemáticas determinadas a nivel regional, como la distribución de la precipitación estacional, ecuaciones determinadas experimentalmente de la producción de forraje de distintos recursos regionales y algoritmos de respuesta animal de sistemas pastoriles, reconocidas por la literatura científica internacional (CSIRO, 2007), lo cual lo hace un modelo confiable y en el cual se puede analizar en detalle las relaciones matemáticas que definen el funcionamiento de cada submodelo.

A través del modelo bioeconómico se pudo mejorar la comprensión de la integración tecnológica en los sistemas ganaderos del área. Serman (2000) destaca la importancia de experimentar con modelos antes de llevar al terreno los diseños tecnológicos y/o propuestas de políticas de producción.

Los experimentos con variables simuladas fueron consistentes con los resultados reportados experimentalmente en la literatura científica. Asimismo, permitieron visualizar la compleja y dinámica interrelación de las variables sobre los factores estudiados: riesgo de la producción y economía de los sistemas, que con los métodos de investigación tradicionales no hubiesen podido ser evaluados en forma cuantitativa y dinámica (Baldwin, 1976, Sorensen et al., 1992 a; Tess et al., 2000; Smeaton & Vivanco, 2001; Woodward *et al.*, 2008; Machado *et al.*, 2010).

Los sistemas modales presentaron menores niveles de producción y resultado económico, y fueron más riesgosos que la propuesta de un sistema de mayor aplicación de tecnología, cuando fueron evaluados frente a la totalidad de la variabilidad del clima actual de la región. Estas diferencias se hicieron más pronunciadas al evaluarse dichos sistemas tecnológicos frente a la variabilidad de la precipitación esperada en el futuro cercano (2012-2050) bajo el escenario A2 de Cambio Climático.

Los resultados hallados demostraron por un lado, que frente a la distribución de probabilidades de la precipitación en el clima actual, la extensión y adopción del diseño técnico mejorado permitirá un aumento substancial en la producción de carne neta y el margen bruto respecto al estado modal actual de la tecnología utilizada en los sistemas de producción regionales, como así también la reducción de sus riesgos respectivos. En segundo lugar, en la medida que las previsiones de Cambio Climático para el futuro cercano (2012-2050) sigan los patrones detectados, las ventajas productivas y económicas del modelo tecnificado serán superiores al sistema modal. Este hecho permite identificar al paquete tecnológico utilizado en ST como una alternativa válida para la definición de estrategias de mitigación del impacto negativo que pudiera llegar a tener en CCG en la región de estudio. Se puede concluir que los resultados de este trabajo confieren una mayor seguridad a los agentes de decisión de que el cambio tecnológico propuesto en Sistemas Tecnificados en la región, además de verse favorecido en el contexto climático actual, permite una mejor adaptación a las condiciones ambientales esperadas en el futuro próximo.

En investigaciones futuras sería importante incluir en el estudio de riesgos a través de modelos de los sistemas de producción, el impacto diferencial sobre otros aspectos de la sustentabilidad relacionados al ambiente, tales como la susceptibilidad a la degradación y erosión de los recursos naturales puestos en juego. Asimismo, continuar perfeccionando la calibración de MBBCR, a partir de la incorporación de información regional científica generada o a generarse en experimentos reales en la zona de estudio.

4.2. Conclusiones específicas.

- La región de estudio presentó un alto grado de homogeneidad en el comportamiento de la precipitación, con diferencia de medias inferiores al 21%, y sólo observable entre los sitios extremos Noreste y Sudoeste. Este comportamiento permitirá en estudios futuros que contemplen la necesidad de elaboración de políticas regionales ambientales, estudios de producción, de emergencia agropecuaria, entre otras, ser considerada un área bi-distrital, altamente homogénea para el tratamiento de los riesgos relacionados a la precipitación, principalmente la ocurrencia de sequías.
- Se encontraron múltiples evidencias de un efecto positivo del calentamiento global sobre la distribución de las precipitaciones en la zona de estudio desde finales de 1960 hasta el presente. Dicho cambio mostró un aumento de la mediana de la precipitación anual entre los periodos 1860-1960 y 1961-2011 del 28,9%, explicado principalmente por un incremento del 45% ($p < 0,0009$) y 27% en la mediana de lluvias de primavera y verano, respectivamente.
- Las señales de cambio climático para el futuro cercano (2012-2050) en la región de estudio y para uno de los escenarios climáticos de mayor utilización en la actualidad (A2), mostraron un aumento de la mediana de la precipitación anual del 20,9%, respecto a la mediana del periodo inmediato anterior (1961-2011). Dicho aumento es atribuible a un incremento de la mediana estival del 36,3% y del 43,9% para la estación de otoño, más que proporcional a la reducción observada para la primavera del 11,2 %.
- Frente a la totalidad de la variabilidad de la precipitación del clima presente en la región de estudio, el sistema de mayor adopción de tecnología estudiado, respecto a los sistemas de tecnología modal actuales, expuso un incremento en la mediana de la distribución de probabilidades de la producción de carne neta del 166% y un crecimiento del 479% para el margen bruto.
- En función de los cambios en la distribución de las lluvias por efecto del CCG en el futuro cercano (2012-2050, A2) en la región de estudio, el sistema de alta tecnología mostró un aumento del 255% y 1077% de la mediana de la distribución de probabilidades de la PCN y del MB, respectivamente, con respecto a los sistemas modales.
- La utilización del modelado matemático fue un instrumento esencial para integrar y estudiar la interrelación de distintas componentes del sistema de producción. Asimismo, fue una herramienta de análisis muy valiosa para la integración conceptual y la relación de distintas disciplinas del conocimiento científico, orientadas al estudio de objetivos específicos complementarios como los planteados explotando las potencialidades del enfoque sistémico.

4.3. Recomendaciones prácticas.

- El bajo nivel tecnológico aplicado en los sistemas ganaderos modales actuales de la región de estudio, en función de la variabilidad de las precipitaciones del clima presente, determina niveles de producción y resultados económicos muy bajos y lejanos a los potenciales que permitiría la dotación de lluvias característica. Asimismo, la falta de adopción de la tecnología disponible, deriva en una variabilidad de producción muy alta confiriendo a dichos sistemas de altos niveles de riesgo. Este hecho atenta contra la sustentabilidad de las explotaciones de la región. No obstante, los resultados hallados permiten afirmar que la integración de las tecnologías mencionadas permitirían elevar y estabilizar significativamente los niveles de producción y resultado económico de los sistemas, contribuyendo a disminuir la vulnerabilidad de dichos establecimientos regionales y por ende mejorar su sustentabilidad.
- De confirmarse las predicciones esperadas de cambio climático en el futuro cercano y/o en la medida que se manifiesten tendencias en dicho sentido, las explotaciones que continúen con un bajo nivel tecnológico como los sistemas modales actuales, se verán aún mas perjudicadas en sus niveles de producción, economía y riesgos afrontados. Este hecho plantea, que el inicio de un cambio tecnológico progresivo hoy, permitiría no solo una mejora substancial frente a las condiciones de clima presente, sino también un re-aseguro para mitigar los posibles efectos negativos de las tendencias observadas de cambio climático, en la medida que las mismas acontecieran.
- Posiblemente, las implicancias positivas de estas recomendaciones prácticas son intuitas por los productores y empresarios agropecuarios del área. Sin embargo, la magnitud de los niveles de riesgo cuantificados son seguramente desconocidos. Estos resultados demuestran la relevancia de mejorar las estrategias de extensión futuras para la información, concientización y asistencia al cambio tecnológico de los productores de la región interesados en mejorar y conferir mayor seguridad a su rédito económico actual y futuro.
- Se prevé la utilización y continuidad en la calibración de MBBCR en los distritos de Bahía Blanca y Cnel Rosales para el periodo 2013-2018 por los asesores del Sistema de la Agencia de Extensión de INTA, que nuclea a 105 productores del área organizados en 10 grupos Cambio Rural, orientados a este tipo de cambio tecnológico sistémico. En este sentido, se prevé utilizar el modelo desarrollado como una herramienta de soporte para la discusión y análisis técnico participativo de esta componente de extensión regional.

4.4. Recomendaciones metodológicas y futuras líneas de investigación.

- Profundizar la investigación de otras alternativas y combinaciones tecnológicas aplicadas a los sistemas de producción (fertilización, inclusión de otras especies y cultivares, métodos de pastoreo, uso de reservas y silajes, etc), combinando la actividad experimental de campo con la modelación numérica.
- Continuar mejorando el desarrollo de modelos bioeconómicos a partir de la generación e incorporación de mayor información experimental regional, por considerarse este instrumento como una herramienta muy valiosa para el estudio de sistemas complejos de manera interdisciplinaria.
- Incorporar a este tipo de modelos subrutinas que permitan cuantificar otros aspectos relacionados a la sustentabilidad ambiental como la susceptibilidad a la erosión eólica, hídrica, calidad de los suelos, etc. Esto permitiría complementar aún más el conocimiento de los impactos de distintas configuraciones tecnológicas sobre las variables ambientales y la identificación temprana de potenciales riesgos de degradación de los recursos naturales utilizados.
- Evaluar y calibrar algunos modelos fisiológicos de crecimiento vegetal diario existentes de mayor reconocimiento a los forrajes de mayor utilización regional en función de ensayos regionales donde se registren variables relacionadas a la producción de MS, variables climáticas y edáficas, de manera de lograr una mayor precisión de las tasas de crecimiento diarias a lo largo del año calendario.
- Avanzar en los próximos años con los estudios de cambio climático regionales, a partir de la adecuación a la evolución continua que presentan las herramientas matemáticas de modelación climática, dada la importancia visualizada de este fenómeno sobre la producción agropecuaria y el resto de las actividades humanas.

5. BIBLIOGRAFÍA

- AACREA. 1985. Normas para medir la producción de carne. Cuaderno de Estudios y Métodos N°2. 4º edición. 17 p.
- Abdelhadi, L.O.; Santini, F.J. & Gagliostro, G.A. 2005. Corn silage or high moisture corn supplements for beef heifers grazing temperate pastures: effects on performance, ruminal fermentation & in situ pasture digestion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118: 63-78.
- Abraham, E. Bingru Huang, Stacy A. Bonos & William A. Meyer. 2004. Evaluation of drought resistance for texas bluegrass, kentucky bluegrass, & their hybrids. *Crop Science.* 44(5):1746-1753.
- Aceituno, P. 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector: Part I: surface climate. *Mon. Weather Review* 116:505-524.
- Adjei, M. B.; Mislevy, P. & C. Y. Ward. 1980. Response of tropical grasses to stocking rate. *Agron. Journal.* 72:863-868.
- Adúriz, M.A. & Gargano, A.O. 1989. Efectos de frecuencias e intensidades de defoliación sobre la asociación de alfalfa (*Medicago sativa*) y pasto llorón (*Eragrostis curvula*). I. Rendimientos de materia seca. *AAPA, Rev. Arg. Prod. Anim.* 9 (1): 33-40.
- Aerts, R. ; Chapin III, F. 2000. The mineral of wild plants revisited: A re-evaluation of processes & patterns. *Advanced in Ecological Research.* 30:2-67.
- AFRC. 1993. Necesidades energéticas y proteicas de los rumiantes. Apéndice I. Tabla de composición de alimentos. p. 147-157. Agricultural & Food Research Council (AFRC). Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Agabriel, J. & Ingrand, S. 2004. Modelling the performance of the beef cow to build a herd functioning simulator. *Animal Researche,* 53:247-361.
- Agnusdei M. & Mazzanti A. 2001. Frequency of defoliation of native and naturalized species of the Flooding Pampas (Argentina). *Grass and Forage Science.* 56:344-351.
- Agosta, E. A. y R.H. Compagnucci. 2008. The 1976/77 Austral Summer Climate Transition Effects on the Atmospheric Circulation & Climate in southern South America. *J. Clim.* DOI: 10.1175/2008JCLI2137.1
- Aguilar, C.; Cortés, H.; Allende, R. 2002. Los modelos de simulación. Una herramienta de apoyo a la gestión pecuaria. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal.* 10(3): 226-231.
- Aguirrezabala, M. & Oficialdegui, R. 1993. Simulación del consumo bovino y ovino en condiciones de pastoreo. *Producción Ovina* 6: 89-110.
- Agriculture and Agri-Food Canada. 1995. Livestock market review. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, ON, Canada.
- Ahlström, A.; Schurgers, G.; A. Arneeth & B. Smith. 2012a. Robustness and uncertainty in terrestrial ecosystem carbon response to CMIP5 climate change projections. *Environ. Res. Lett.* 7:044008.

- Ahlström, A.; Miller P. & Smith B. 2012b. Too early to infer a global NPP decline since 2000 *Geophys. Res. Lett.* 39: L15403.
- Alberta Agriculture. 1987. Beef herd management. Alberta Agriculture, Edmonton, AB, Canada.
- Alberta Agriculture. 1995. Varieties of perennial hay and pasture crops for Alberta. Agri-Fax. Alberta Agriculture. Edmonton. Canada.
- Alexander, B.M.; Hess, B.W.; Hixon, D.L.; Garret, B.L.; Rule, D.C.; Mc Farl&, M.; Bottger, J.D.; Simms, D.D.; Moss, G.E. 2002. Influence of fat supplementation on beef cow reproduction & calf performance. *Prof. Anim. Sci.* 18:351-357.
- Alexander, L.V.; X. Zhang; T.C. Peterson; J. Caesar; B. Gleason; A. Klein Tank; M. Haylock; D. Collins; B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, P. Ambenje; K. Rupa Kumar; J. Revadekar & G. Griffiths. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation *J. Geophys. Res.* 111. DOI:[10.1029/2005JD006290](https://doi.org/10.1029/2005JD006290).
- Almeira, G., Ciappesoni, H., Goniadzki, D., and, B. 2004. Índice de Precipitación Estandarizado: Una Aplicación en el Litoral Argentino. X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología. Mar del Plata. Argentina.
- Amer, P. R.; Kemp, R. A.; Buchanan-Smith J. G.; Fox G. C. & Smith, C. 1994. A bioeconomic model for comparing beef cattle genotypes at their optimal economic slaughter end point. *J. Anim. Sci.* 72: 38–50.
- Andenberger, M.R. 1973. Cluster analysis for Application. A. Press. New York. 359 pag.
- Anderson, J.R. & Dillon J.L. 2001. Risk analysis in dryland farming systems. 2nd Ed. FAO. Rome.
- Anderson, B. T., & J. O. Roads. 2002. Regional simulation of summertime precipitation over the southwestern United States. *J. Climate.* 15:3321–3342.
- Andrioli, R. 2008. Influencia de la especie y del pastoreo sobre la dinámica del nitrógeno en suelos del sur del Caldenal. Tesis Magíster en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur.
- Andrioli, R. & Distel. R. 2011. Litter quality of C₃ perennial grasses & soil inorganic nitrogen in a semiarid rangeland of central Argentina. *Journal of Arid Environments.* 72: 1684– 1689
- Antic, S.; Laprise, R.; Denis, B.; De Elia R. 2004. Testing the downscaling ability of a one-way nested regional climate model in regions of complex topography. *Clim Dyn.* 23:473–493
- Arnade, C. & Jones, K. 2003. Modeling the Cattle Replacement Decisions. In: Proceedings of the American Agricultural Economics Association Annual Meeting. Montreal, Canada.
- Arnell, N. W.; D. A, Hudson, & R. G. Jones. 2003. Climate change scenarios from a regional model: Estimating change in runoff in southern Africa. *J. Geophys. Res.* 108 :4519-4526.

- Arneth, A.; S.P. Harrison; S. Zaehle; K. Tsigaridis; S. Menon; P.J. Bartlein; J. Feichter; A. Korhola; M. Kulmala. 2010. Terrestrial biogeochemical feedbacks in the climate system *Nature Geosci.* 3:525–32
- Arelovich, H.; Arzadún, M.J.; Laborde, H.; Vázquez, M.G. 2003. Performance of beef cattle grazing oats, supplemented with energy, escaped protein or high quality hay. *Animal Feed Sci. Technol.* 105:29-42.
- Arelovich, H.; Laborde, H.; Arzadún, M.J.; Vázquez, M.G. 2004. Influence of hay quality & pasture location on performance of beef cattle grazing oats. *Spa. J. Agric. Research.* 2(1):53-61.
- Ashbell, G. ; Weinberg, Z.; Bolsen, K.; Hen, K.; Azrieli A. 1999. The silage characteristics of two varieties of forage *Sorghum* mixed in different proportions & at two stages of maturity. *African Journal of Range & Forage Sci.* 15: 68-71.
- Ashfield, A. ; Crosson, P. & M. Wallace. 2013. Simulation modelling of temperate grassland based dairy calf to beef production systems. *Agricultural Systems.* 115:41-50
- Ashok Kumar, A.; Reddy, B.; Sharma, H.; Hash, C.T.; Srinivasa Rao, P.; Ramaiah, B & Sanjana Reddy, P. 2011b. Recent advances in *Sorghum* genetic enhancement research at ICRISAT. *American Journal of Plant Sciences.* 2:589–600.
- Assefa, Y & S. Staggenborg. 2010. Grain *Sorghum* yield with hybrid advancement & changes in agronomic practices from 1957 through 2008. *Agron. J.* 102(2): 703 – 706.
- Atkinson, R.L.; Toone D., & P. A. Ludden. 2010a. Effects of ruminal protein degradability & frequency of supplementation on site & extent of digestion & ruminal fermentation characteristics in lambs fed low-quality forage. *J. Anim. Sci.* 88:718-726.
- Atkinson, R.L.; Toone D.; T. J. Robinson; D. L. Harmon & P. A. Ludden. 2010b. Effects of ruminal protein degradability & frequency of supplementation on nitrogen retention, apparent digestibility, & nutrient flux across visceral tissues in lambs fed low-quality forage. *J. Anim. Sci.* 88:727-736
- Azardaún, M.; Freddi, J.; Pissani, A.; Sastre, P. 1996. Composición del forraje de avena y respuesta a la suplementación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 16. 140-141.
- Azzam, S.; J.E., Kinder & M.K., Nielsen. 1990. Modelling reproductive management systems for beef cattle. *Agricultural Systems.* 34(2):103-122.
- Bachinger, J. & P. Z&er. 2006. ROTOR, a tool for generating & evaluating crop rotations for organic farming systems. *European Journal of Agronomy.* 26:130-143.
- Badu-Apraku, B.; Akinwale, R.; Franco, J. & M. Oyekunle. 2012. Assessment of reliability of secondary traits in selecting for improved grain yield in drought & low-nitrogen environments. *Crop Science.* 52(5): 2050-2062.
- Baettig, M.; M. Wild & D. Imboden. 2007. A climate change index: Where climate change may be most prominent in the 21st century. *Geophysical Research Letters*, 34:L01705. doi: 10.1029/2006GL028159.

- Balbuena, O.; Rochinotti, D.; Arakaki, C.L.; Kucseva, C.D.; Somma De Feré, G.R.; Slanac, A.L.; Koza, G.A.; Schereiner, J.J.; & Navamuel, J.M. 2002b. Efecto de la suplementación proteica sobre la digestibilidad y flujo nitrogenado en novillos consumiendo pasto estrella. *Revista Argentina de Producción Animal*, 22 (1):13- 14.
- Baldwin, R. 1976. Modelling metabolism. En Levine J, Honeboken W (Eds.) *Principles of modelling animal systems*. University of California. EEUU. pp. 33-40.
- Banta, J. P.; Lalman, D. L.; Owens, F. N.; Krehbiel, C. R.; Wettemann, R. 2006. Effects of interval feeding whole sunflower seeds during mid to late gestation on performance of beef cows & their progeny. *J. Anim. Sci.* 84:2410–2417.
- Barbehenn, R. V.; Bernays, E. A. 1992. Relative nutritional quality of C₃ & C₄ grasses for a gaminivorous lepidopteran, *Paratrytone melane* (Hesperiidae). *Oecologia* 92:97–103.
- Barbehenn, R. V.; Chen, Z.; Karowe, D. N.; Spickard, A. 2004. C₃ grasses have higher nutritional quality than C₄ grasses under ambient & elevated atmospheric CO₂. *Glob. Change Biol.* 10:1565–1575.
- Barrucand, M. G.; M. Rusticucci & W. Vargas 2008. Temperature extremes in the south of South America in relation to Atlantic Ocean surface temperature and Southern Hemisphere circulation. *Journal of Geophysical Research*. Vol 113, D20111.
- Barrucand, M; W. Vargas & M. Rusticucci. 2007. Dry conditions over Argentina and the related monthly circulation patterns *Meteorology and Atmospheric Physics*. 98(1-2);99-114 .
- Bartl, K.; Mayer, A.; Gómez, C.; E. Muñoz; H., Hess & F., Holmann. 2009. Economic evaluation of current and alternative dual-purpose cattle systems for smallholder farms in the central Peruvian highlands. *Agricultural Systems*. 101(3):152-161.
- Baruch, Z.; Ludlow, M.; Davies, R. 1985. Photosynthetic response of native & introduced C₄ grasses for Venezuela savanna. *Oecologia*. 67 (3):388-393.
- Baruch, Z; Fern&ez, D. 1993. Water relation of native & introduced C₄ grasses in neotropical savannas. *Oecologia*. 96 (2):179-85.
- Baruch, Z.; Gómez J. 1996. Dynamic of energy & nutrient concentration & construction costing a native & two alien C₄ grasses from neotropical savannas. *Plant & Soil*. 84:171-185.
- Basarab, J.A.; Rutter, L.M.; Day, P.A. 1993. The efficacy of predicting dystocia in yearling beef heifers: I. Using ratios of pelvic area to birth weight or pelvic area to heifer weight. *J. of Ani. Sci.* 71(6): 1359-1365.
- Baumont, R.; Prache, S.; Meuret, M.; Mor&-Fehr, P. 2000. How forage characteristics influence behaviour & intake in small ruminants: A review. *Livestock Prod Sci.* 64:15-28.
- Bazzigalupi, O.; Pistorale, S.; &rés, A. 2008. Tolerancia a la salinidad durante la germinación de semillas provenientes de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). *Cien. Inv. Agr.* 35(3): 277-285.

- Beaty, J; Cochran, R; Lintzenich, B; Vanzant, E; Morrill, J; Br&t, R; Johnson, D. 1994. Effect of frequency of supplementation & protein concentration in supplements on performance & digestion characteristics of beef cattle consuming low-quality forages. *J. Anim. Sci.* 72:2475–2486.
- Beauchemin, K.; Janzen, .; Little, S.; McAllister, T. & S. McGinn. 2010. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems.* 103(6):371-379.
- Beauchemin, K. A.; Janzen, H. H.; Little, S. M.; McAllister, T. A.; McGinn, S. 2011. Mitigation of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada—Evaluation using farm-based life cycle assessment. *Anim. Feed. Sci. Tech.* 166-167:663–677.
- Belcher, K. W.; Boehm, M. M. & M. E. Fulton. 2004. Agroecosystem sustainability: a system simulation model approach. *Agricultural Systems.* 79:225-24.
- Belsky,A. 1986. Does herbivory benefits plants? A review of the evidence. *The American Naturalist.* 127:870-892
- Belsky, A.1992. Effects of grazing, competition, disturbance & fire on species competition & diversity in grasslands community. *Journal of Vegetation Sci.* 3:187-200.
- Belum, V.; Redy, S.; Ramesh, S; Sanjana Reddy, & A. Ashok Kumar. 2009. Genetic enhancement for drought tolerance in *Sorghum*. En *Plant Breeding Reviews.* International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT). Patancheru 502 324. Andra Pradesh. India.
- Ben Haj, S. & F. Tardieu. 1997. Control of leaf expansion rate of droughted maize plants under fluctuating evaporative dem&. A superposition of hydraulic & chemical messages? *Plant Physiology.* 114: 893-900.
- Beran, M.A. 1979. The effects of dependence on the assessment of hydrologic drought severity, *Proc. Int. Sym. Hydrological Aspects of Drought.* New Delhi. 103-111.
- Berg, W. A., & P. L. Sims. 1995. Nitrogen fertilizer use efficiency in steer gain on old world bluestem. *J. Range Manage.* 48:465–469.
- Berger, H.; Machado, C.; Agnus, M& B. R. Cullen. 2013. Use of a biophysical simulation model (DairyMod) to represent tall fescue pasture growth in Argentina. *Grass and Forage Science.* 1:1-13. doi: 10.1111/gfs.12064
- Bernués, A.; Riedel, J.L.; Asensio, M.A.; Blanco, M.; Sanz, A.; Revilla, R.; Casasús, I. 2005. An integrated approach to studying the role of grazing livestock systems in the conservation of rangel&s in a protected natural park (Sierra de Guara, Spain). *Livestock Production Science.* 96: 75-85.
- Bettolli, ML; Altamirano, M; Cruz Brasesco; G, Rudorff, F; Martínez Ortiz; A, Arroyo, J, Armoa, J. 2010. Pastura natural de Salto (Uruguay): relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. *Revista Brasileira de Meteorologia,* 25: 248–259
- Beran, M.A. 1989. Drought; processes & future, in *Inter-regional Symposium on round Water Res. Management in Drought Prone Areas,* New Delhi, 1-27.

- Beretta, V.; Simeone, A.; Elizalde, J.C.; Baldi, F. 2006. Performance of growing cattle grazing moderate quality legume-grass temperate pastures when offered varying forage allowance with or without grain supplementation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 47(6,7):793-797.
- Bertalanffy, L.V. 1976. *Teoría General de los Sistemas*. México: F.C.E.
- Beukes, P.C.; Gregorinia, P.; Romera, A. & D.E. Dalley. 2011. The profitability and risk of dairy cow wintering strategies in the Southland region of New Zealand. *Agricultural Systems*. 104(7):541–550.
- Beven, K. 1995. Top Model. En: Sing V. P. (Ed.), *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water resources Publications. Colorado. pp 627-668.
- Beven K. 2002. *Rainfall-Runoff Modelling*. Wiley, Chichester
- Bishop, D. K.; Wettemann, R.P.; Spicer, L.J. 1994. Body energy reserves influence the onset of luteal activity after early weaning of beef cows. *J. Anim. Sci.* 72:2703-2708.
- Blanc, F. & Agabriel, J. 2008. Modelling the reproductive efficiency in a beef cow herd: effect of calving date, bull exposure and body condition at calving on the calving–conception interval and calving distribution. *Journal of Agricultural Science*. 146: 143–161.
- Blázquez, J.; M. Nuñez; S. Kusunoki. 2012. Climate projections and uncertainties over South America from MRI/JMA global model experiments. *Atmospheric and Climate Sciences*. 2(4): 381-400.
- Blum A. & Sullivan C. 1985. The comparative drought resistance of races of *Sorghum* & millet from dry & humid regions. *Annals of Botany*. 57(6):835–846.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, & yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*. 56: 1159- 1168
- Blümmel, M.; Seetharama, N.; Bidinger, F.; Hash, C.; Choudhary, S. & Reddy B. 2010a. Considerations for *Sorghum* & millet improvement. pp 19–26 in *Research & developments in millets: present status & future strategies* (Patil JV, Dayakar Rao B, Umakanth A, Tonapi V, Rskshit S, Rao S & Ganapathy K, (Eds.). Rajendranagar, Hyderabad & Pradesh, India. Directorate of *Sorghum* Research.
- Bodine, T; Purvis, H; Ackerman, C; Goad, C. 2000. Effects of supplementing prairie hay with corn & soybean meal on intake, digestion, & ruminal measurements by beef steers. *J. Anim. Sci.* 78:3144–3154.
- Bodine, T. N.; Purvis, H. T.; Lalman, D. L. 2001. Effects of supplement type on animal performance, forage intake, digestion, & ruminal measurements of growing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 79:1041–1051.
- Bodine, T & Purvis, H. 2003. Effects of supplemental energy &/or degradable intake protein on performance, grazing behavior, intake, digestibility, & fecal & blood indices by beef steers grazed on dormant native tallgrass prairie. *J. Anim. Sci.* 81:304–317

- Boggs, D.L. 1991. South Dakota Beef Report. Department of Animal and Range Sciences. South Dakota State University.
- Bohn, V.; C. Piccolo & G. Perillo. 2010. Análisis de los periodos secos y húmedos en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista de climatología* 11:31-43.
- Bohnert, D.; Del Curto, A.; Clark, M.; Merril, S.; Falck, J. & D. L. Harmon. 2011. Protein supplementation of ruminants consuming low-quality cool- or warm-season forage: Differences in intake & digestibility. *J. Anim. Sci.* 89(11):3707-3717.
- Bohnert, D. W.; Schauer, C. S.; Bauer, M. L.; DelCurto, T. 2002a. Influence of rumen protein degradability & supplementation frequency on steers consuming low-quality forage: I. Site of digestion & microbial efficiency. *J. Anim. Sci.* 80:2967–2977.
- Bohnert, D. W.; Schauer, C. S.; DelCurto, T. 2002b. Influence of rumen protein degradability & supplementation frequency on performance & nitrogen use in ruminants consuming low-quality forage: Cow performance & efficiency of nitrogen use in wethers. *J. Anim. Sci.* 80:1629–1637.
- Bohnert, D. W.; Schauer, C. S.; Falck, S. J.; DelCurto T. 2002c. Influence of rumen protein degradability & supplementation frequency on steers consuming low-quality forage: II. Ruminant fermentation characteristics. *J. Anim. Sci.* 80:2978–2988.
- Bolletta, A. Zamora, M.; Melin A. 2010. Sorgo en el Sur. Red regional de evaluación de cultivares de Sorgo. Ed INTA. p. 56.
- Boó, R; Lutz, E.; Peláez, D; Lindstrom, I. 1983. Reservas de hidratos de carbono en *Eragrostis curvula* (Schrad) Nees. *Prod. Animal.* 10:309-315.
- Borrell, A.; Bidinger, F.; Sunitha, K. 1999. Staygreen associated with yield in recombinant inbred *Sorghum* lines varying in rate of leaf senescence. *International Sorghum & Millets Newsletter.* 40:31–34.
- Borrell, A.; Hammer, G.; Henzell, RG. 2000. Does maintaining green leaf area in *Sorghum* improve yield under drought? 2. Dry matter production & yield. *Crop Science* 40:1037–1048.
- Bourdon, R.M. & Brinks, J.S. 1987a. Simulated Efficiency of Range Beef Production. II. Fertility Traits. *J. Ani. Sci.* 65(4): 956-.963.
- Bourdon, R. M. & Brinks, J. S. 1987b. Simulated efficiency of range beef production. I. Growth and milk production. *J. Anim. Sci.* 65: 943–955.
- Bousquet, F.; D’Aquino, P.; Rouchier, J.; Requier-Desjardins, M.; Bah, A.; Canal, R.; Le Page, C. 1999. Rangelands herd and herder mobility in dry inter tropical ones: multi-agent systems and adaptation. En: Eldridge D, Freudenberger D. (Eds.). *People of the Rangelands: Building the future. Proceedings of the VI International Rangeland Congress; Townsville, Australia.* Queensl& : VI International Rangeland Congress, Inc. pp. 819 - 824.
- Bowman, J. & B. F. Sowell. 2003. Technology to complement forage-based beef production systems in the West. *J. Anim. Sci.* 81:E18-E26.
- Box, G.E.P. 1953. Non-normality and Tests on Variance. *Biometrika*, 40: 318-335.

- Brandizi, L.; Sequeira, M.; Fernández, S.; Labraga, J. 2009. Estimación de la precipitación mensual en una cuenca del sudoeste bonaerense - Método de Downscaling. Congreso; CONAGUA 2009 - XXII Congreso Nacional del Agua; 2009 Trelew, Provincia del Chubut. Argentina
- Brandt, C.J.; Thornes, J.B. 1996. Mediterranean Desertification & Land Use. Wiley & Sons. Chichester: 554 p.
- Bransby, D. I.; Conrad, B. E.; Dicks, H. M. & J. W. Drane. 1988. Justification for grazing intensity experiments: Analysis & interpreting grazing data. *J. Range Manage.* 41:274–279.
- Bray, E. 1997. Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science.* 2: 48–54.
- Brereton, A.J.; Holden, N. M.; McGilloway, D.A., Carton, O.T. 2005. A model describing the utilization of herbage by steers in a rotational grazing system. *Grass & Forage Science.* 60:367-384
- Brevedan, R.E.; Laborde, H.E.; Fioretti, M. & Baioni, S.S. 2004. Características relacionadas a la deficiencia hídrica y la fertilización con nitrógeno de *Digitaria eriantha*. II Reunión Binacional de Ecología. Mendoza, Argentina. 295 p.
- Briggs, W. M. & Wilks, D.S. 1996. Estimating monthly & seasonal distribution of temperature & precipitation using the new CPC long-range forecasts. *Journal of Climate*, VOL IX, N° 4, Abril, pp. 818-839. Fort Collins, Colorado, Estados Unidos.
- Brody, S. 1945. Bioenergetics & growth. Reinhold Publishing Corporation, New York, USA. 1.023 p.
- Brorsen, W.; Walker, O.; Horn, G.W., Nelson, T.R. 1983. A Stocker Cattle Growth Simulation Model. *So. J. Agr. Econ.* 15(1): 97-102.
- Brown, K.R & P.S.Evans. 1973. Animal Treading, a Review of the Work of the Late D. B. Edmond. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture.* 1:217-226.
- Brown, B.; Hanson, M.; Liverman, D. & Merideth, R. 1987. Global sustainability: towards definition. *Environ. Management.* 11: 713-719.
- Brown, R. 1995. The water relations of range plants: Adaptations to water deficits. p. 291-413. In: *Wildl & Plants. Physiological Ecology & Developmental Morphology.* D.J. Bedunah, R.E. Sosebee (Eds). Society for Range Management, Denver, CO, USA.
- Burgers, G.; Jin F. Van Oldenborgh, G.J. 2005. The simplest ENSO recharge oscillator. *Geophys Res Lett* 32:L13706.
- Burges, J.C. y Romera, A. 2003. Condición corporal, nivel nutricional y fertilidad de vacas paridas en otoño. *Rev. Arg. de Prod. Anim.* 23: 304-306.
- Burgos, J.J. 1969. El Clima de la Provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación natural y el suelo. En *Flora de la Provincia de Buenos Aires* por A.L. Cabrera (director). Colección Científica. Tomo IV. Parte 1ra. Pág. 33-99. Ed. I.N.T.A. Buenos Aires.
- Buschiazzo, D.; Zobeck, T.; Aimar, S. 1999. Wind erosion in loess soils of the Semiarid Argentinian Pampas. *Soil. Sci.* 164(2): 133-138

- Busso, C.; Richards, J. 1995. Drought and clipping effect on tiller demography & growth of two tussock grasses in Utah. *J. Arid. Environ.* 29: 239-251.
- Butler, T & Muir, J. 2006. Dairy Manure Compost Improves Soil & Increases Tall Wheatgrass Yield. *Agronomy Journal*. 98(4):1090-1096.
- Bryant, J.; Lopez-Villalobos, N.; Holmes, C. ; Pryce, J.; J, Rossi, K, Macdonald. 2008. Development and evaluation of a pastoral simulation model that predicts dairy cattle performance based on animal genotype and environmental sensitivity information. *Agricultural Systems*. 97:1
- Cabré, M. F.; Solman, S. A. & Nuñez, M. N. 2010. Creating regional climate change scenarios over southern South America for the 2020's & 2050's using the pattern scaling technique: validity and limitations. *Climatic. Change*. 98:449-469.
- Cabré, M.F. 2011. Uso de un modelo climático regional para estimar el clima en Sudamérica subtropical para el futuro lejano. Estimación de incertidumbres del modelo. Tesis de Doctoral. Facultad de Ciencias Exáctas y Naturales. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. Universidad de Buenos Aires.
- Cabré, M.F. ; S. Solman ; M. Nuñez. 2012. Creating regional climate change scenarios over southern South America for the 2020's and 2050's using the pattern scaling technique: validity and limitations *Climatic Change*. 98(3):449-469.
- Cabuslay, G. & Alejar A. 1999. Genotypic differences in physiological responses to water deficit in rice. In: O'Toole J, Ito O, Hardy B, eds. Genetic improvement of rice for water-limited environments. International Rice Research Institute, pp. 99–116.
- Campo, C.; Capella, A. & Diez, P. 2004. El clima del Sudoeste Bonaerense. EdiUns, Bahía Blanca
- Capella, A. & Campo, A. 1994. La transición climática en el Sudoeste Bonaerense. *SIGEO*. 5:1-77.
- Capper, J. 2011. The environmental impact of United States beef production: 1977 compared with 2007. *J. Anim. Sci.* 89:4249–4261.
- Capper, J. L . 2012. Is the grass always greener? Comparing resource use & carbon footprints of conventional, natural & grass-fed beef production systems. *Animals* 2:127–143.
- Capper, J. L & Hayes, D. 2012. The environmental & economic impact of removing growth-enhancing technologies from U.S. beef production. *J. Anim. Sci.* 90(10): 3527-3537
- Carcellar, M.; Larrazabal, M.; Duahrt, J.; Diaz A. 1980. Resistencia al frío y la sequía de distintos cultivares de *Eragrostis curvula*, *E. chloromelas*, *E. robusta* y *E. lehmanniana*. *Rev. Invest. Arop.* 15:373-380.
- Carr, P. Horsley, R. ; Pol&, W. 2004. Barley, oat & cereal-pea mixtures as dryl& forages in the northern great plains. *Agron. Journal*. 96:677-684.
- Cartwright, T.C. 1979. The Use of Systems Analysis in Animal Science with Emphasis on Animal Breeding. *Journal of Animal Sci.* 49(3): 817-824.

- Casler, M.D.; Vogel, K.P.; Taliaferro, M. & Wynia, R.L. 2004. Latitudinal adaptation of switchgrass populations. *Crop Science* 44:293-303.
- Carrera, A.; Bertiller M.; Sain C.; Mazzarino, M. 2003. Relationship between plant nitrogen conservation strategies & the dynamics of soil nitrogen in the arid Patagonian Monte. *Plant Soil* .255: 595-604.
- Carter, J.; Patterson, R. 1985. Use of relative water content as a selection tool for drought tolerance in soybean. In: 1985 Agronomy Abstract. ASA. Madison, WI. USA.
- Carter, M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94: 38-47.
- Castañeda, M.; Barros, V. 1994. Las tendencias de la precipitación en el cono sur de América al este de los Andes. *Meteorológica* 19:23-32.
- Castellaro, G. G. & Squella, N. F. 2006. Modelo simple de simulación para la estimación del crecimiento y balance hídrico de praderas anuales de clima mediterráneo. *Agricultura Técnica*. 66(3):271-282.
- Castellaro G., Klee G, Chavarría J. 2007. Un Modelo de simulación de sistemas se engorda de bovinos a pastoreo. *Agricultura Técnica* 67(2):163-172.
- Castellazzi, M. S. ; Wood, G. A. ; Burgess, P. J. ; Morris, J. ; Conrad, K. F.& J. N. Perry. 2008. A systematic representation of crop rotations. *Agricultural Systems*. 97:26-33.
- Caton J.S. & D.V. Dhuyvetter. 1997. Influence of energy supplementation on grazing ruminants: Requirements and Responses. *J. Anim. Sci.* 75:533-542
- Caya D. & Biner S. 2004. Internal variability of RCM simulations over an annual cycle. *Clim. Dyn.* 22:33-6.
- Ceccarelli, S; Grando,S; Baum, M. & Udupa, S. 2004. Breeding for drought resistance in a changing climate. In *Challenges and Strategies for Dryland Agriculture* (Eds S. C. Rao & J. Ryan), pp. 167–190. CSSA Special Publication No. 32. Madison, WI: ASA and CSSA.
- Ceccarelli, S; Grando,S; Baum, M. 2007. Participatory plant breeding in water-limited environments. *Experimental Agriculture* 43, 411–435.
- Cerling, T.E.; Harris, J.M.; MacFadden, B.J., Leakey, M.G., Quade, J., Eisenmann, V.; Ehleringer, J.R. 1997. Global vegetation change through the Miocene)' Pliocene boundary. *Nature*. 389:153-158.
- Cerqueira, E.; Saenz, A.; Rabotnikof, C. 2004. Seasonal nutritive value of native grasses of Argentine Calden forest range. *Journal of Arid Environment*. 54:645-656.
- Ciappesoni, H.; Fernández, A.; Nuñez, M. 2005. Impactos de la urbanización y de los cambios en el uso de la tierra en Argentina. CD Anales IX Congreso Argentino de Meteorología (CONGREMET IX). 9 páginas. ISBN 987-22411-0-4.
- Ciccioli, N.; Wettemann, R.; Spicer, L.; Lents, C.; White, F.; Keisler, D. 2003. Influence of body condition at calving & postpartum nutrition on endocrine function & reproductive performance of primiparous beef cows. *J. Anim. Sci.* 81:3107–3120.

- Cid, M.S.; Ferri, C.M.; Brizuela, M.A. & Sala, O. 2008. Structural heterogeneity & productivity of a tall fescue pasture grazed rotationally by cattle at four stocking densities. *Grassl & Science* 54:9-16.
- Clark R.P. y Lugo D.G. 1986. Kleingrass yield & quality under three irrigations regimes when harvested at anthesis. *Agron. J.* 78: 235-239.
- Clarke, J.; McCraig, T.; 1982. Excised-leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can. J. Plant. Sci.* 62: 571-578.
- Coblentz, W. K.; Turner, J. E.; Ogden, R. K.; Coffey, K. P., Pohlman, F. W.; Brown, A. H. Jr.; Daniels, M. B.; Gunsaulis, J. L.; Thomas, M. L.; Wells, C. A.; Morrow, R. E. 2004. Case Study: Estimating degradable intake protein in warm- & cool-season forages grown on producer farms in northern Arkansas. *Prof. Anim. Sci.* 20:443–452.
- Coblentz, W.K.; M.G. Bertram & N.P. Martin. 2011. Planting Date Effects On Fall Forage Production Of Oat Cultivars In Wisconsin. *Agron. J.* 103:145-155.
- Coblentz, W.K.; M.G. Bertram; N.P. Martin & P. Berzaghi. 2012. Planting Date Effects On The Nutritive Value Of Fall-grown Oat Cultivars. *Agron. J.* 104:312-323.
- Coffey, K.; Coblentz, W.; Scarbrough, D.; Humphry, J.; McGinley, B.; Turner, J.; Smith, T. ; Hubbell, D.; Johnson, Z.; Hellwig, D.; Popp, M.; Rosenkrans, C. 2005. Effect of rotation frequency & weaning date on forage measurements & growth performance by cows & calves grazing endophyte-infected tall fescue pastures overseeded with crabgrass & legumes. *J. Anim. Sci.*83:2684–2695.
- Colazo, J.C & Buschiazzo, D. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma* 159:228-236.
- Cole, N.; Todd, R. 2008. Opportunities of enhanced performance & efficiency through nutrient synchrony in concentrated-fed ruminant. *J. Ani. Sci.* 86:318-333.
- Coleman, S.; Moore, J. 2003. Feed quality & animal performance. *Fields. Crops. Res.* 84:17-26.
- Coleman, S; Rao, S; J. D. Volesky & W. A. Phillips. 2010. Growth & Nutritive Value of Perennial C₃ Grasses in the Southern Great Plains *Crop Science* 50(3):1070-1078.
- Colom, M.R. & C. Vazzana. 2001. Drought stress effects on three cultivars of *Eragrostis curvula*: photosynthesis & water relations. *Plant growth regulation.* 34:195-202.
- Colom, M.R. & C. Vazzana. 2003. Photosynthesis & PSII functionality of drought-resistant & drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental & Experimental Botany.* 49:135-144.
- Compagnucci, R. & Vargas, W. 1998. Interannual variability of Cuyo Rivers Streamflow in Argentinean &ean Mountains & ENSO events. *Int. J.Climatol.*18, 1593-1609.
- Compo, G.; Whitaker J.; Sardeshmukh P. 2006. Feasibility of a 100-year reanalysis using only surface pressure data. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 87: 175–190.

- Compo, G.P. & Sardeshmukh, P. 2008. Oceanic influences on recent continental warming. *Climate Dynamics*. DOI 10.1007/s00382-008-0448-9.
- Convenio AACREA - BANCO RIO. 1990. Normas para medir los resultados económicos en las empresas agropecuarias. 80 pág.
- Conover, W.J. 1999. *Practical Nonparametric Statistics*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Contreras-Govea, F.; Albrecht, K. 2006. Forage production & nutritive value. Of oats in autumn & early summer. *Crop. Sci.* 46:2382-2386.
- Cory, G. R.; Wu, Q.; Singh, P. & K. D. McCool. 2006. WEPP simulation of observed winter runoff & erosion in the U.S. Pacific Northwest. *Vadose Zone Journal*, 5:261-272.
- Cornacchione M.V. 2007. Producción forrajera de gramíneas subtropicales en el sudoeste Santiaguense. *Rev.Arg.Prod.Anim.* 27: 224-225.
- CSIRO. 2007. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. CSIRO Publishing, Collingwood, 270 págs.
- Cox, P.; Betts, R.; Jones C D, Spall S A & Totterdell I. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*. 408:184–7.
- Cox, P.; Betts, R.; Collins, M.; Harris, P.; Huntingford, C; Jones, D. 2004. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical Applied Climatology* 78:137–156.
- Coyle RG 1978. *Management system dynamics*. New York, John Wiley & Son Ltd. 463 p.
- Cramer, W.; Bondeau, A.; Woodward, F.; Prentice, I.; Betts, R.; Brovkin, V.; Cox, P.; Fisher, V.; Foley, J.; Friend, A. 2001. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO and climate change: results from six dynamic global vegetation models *Glob. Change Biol.* 7:357–73.
- Craufurd, P.; Cooper, P.; Rao, K.; Stern, R.; Vadez, V.; Cairns, J. & Rao, V. 2011. Traits for ideotypes to adapt African crops to climate change. pp 30–34 in *Book of Abstracts, International Conference on Crop Improvement, Ideotyping, & Modelling for African Cropping Systems under Climate Change – CIMAC*, 7–9. University of Hohenheim, Germany.
- Crosson, P.; O’Kiely, P.; F.P., O’Mara & M. Wallace. 2006. The development of a mathematical model to investigate Irish beef production systems *Agricultural Systems*. 89:349-370
- Crowe, M.A. 2008. Resumption of ovarian cyclicity in post partum beef & dairy cows. *Reprod. Domest. Anim.* 43(5): 20-8.
- Curll, M. L., & R. J. Wilkins. 1983. The comparative effects of defoliation, treading and excreta on a *Lolium perenne-Trifolium repens* pasture grazed by sheep. *J. Agric. Sci.* 100:451–460.
- Curtis, L.; Kallenbach, R & C. A. Roberts. 2008. Allocating forage to fall-calving cow-calf pairs strip-grazing stockpiled tall fescue. *J. Anim. Sci.* 86:780-789

- Currier, T. A.; Bohnert, D. W.; S. J. Falck & S. J. Bartle.. 2004a. Daily & alternate day supplementation of urea or biuret to ruminants consuming low-quality forage: I. Effects on cow performance & the efficiency of nitrogen use in wethers. *J. Anim. Sci.* 82:1508-1517.
- Currier, T. A.; Bohnert, D. W.; S. J. Falck; C. S. Schauer & S. J. Bartle. 2004b. Daily & alternate-day supplementation of urea or biuret to ruminants consuming low-quality forage: II. Effects on site of digestion & microbial efficiency in steers. *J. Anim. Sci.* 82:1518-1527.
- Currier, T. A.; Bohnert, D. W.; S. J. Falck; C. S. Schauer & S. J. Bartle. 2004c. Daily & alternate-day supplementation of urea or biuret to ruminants consuming low-quality forage: III. Effects on ruminal fermentation characteristics in steers. *J. Anim. Sci.*82:1528-1535.
- Challinor, A.; Wheeler, T.; Garforth, C.; Craufurd, P.; Kassam, A. 2007. Assessing the vulnerability of food crop systems in Africa to climate change. *Climati change* 83:381–399.
- Chan, K.Y.; Bowman, A.M.; Smith, W, & Ashley, R. 2001. Restoring soil fertility of degraded hardsetting soils in semi-arid areas with different pastures. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 507–514.
- Chamberlain, S; Paine, L.; Harrison,L. & R. D. Jackson. 2012.Tradeoffs in Performance of Native Warm-Season Grass Cultivars & Locally Harvested Seed Managed for Wildlife Habitat or Livestock Production. *Agronomy Journal.* 104(5):1383-1391.
- Chapin III, F. 1993. Functional role of growth forms in ecosystem & global processes. In: *Scaling physiological processes: leaf to globe.* (Eds.) J.R. Ehleringer y C.B. Fields.. Academic Press. USA. pp 287-312
- Chapin III, F.; Matson, A.; Harold, A. ; Monet, E. 2002. *Principles of terrestrial ecosystem ecology.* Springer. New York. USA. Pp.436.
- Chapman, D. F.; Malcolm, L.R.; Neal, M; Cullen, B. R. 2007. Risk and uncertainty in dairy production systems: research concepts, tools and prospects. In *Meeting the Challenges for Pasture-Based Dairying.* D.F. Chapman, D.A. Clark, K.L. Macmillan, D.P. Nation (eds). Proceedings of the 3rd Australasian Dairy Science Symposium. Melbourne. Australia. National Dairy Alliance. Pp 476-491.
- Chapman, D.F. ; S.N. Kenny; D., Beca & I.R. Johnson. 2008 a. Pasture and forage crop systems for non-irrigated dairy farms in southern Australia. 1. Physical production and economic performance. *Agricultural Systems.*97(3):108-125.
- Chapman, D.F. ; S.N. Kenny; D., Beca & I.R. Johnson. 2008 b. Pasture and forage crop systems for non-irrigated dairy farms in southern Australia. 2. Inter-annual variation in forage supply, and business risk. *Agricultural Systems.*97(3):126-138.
- Chen, F. & Dudhia, J. 2001. Coupling & advanced I& surface –hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I. Model implementation & sensitivity. *Mon. Wea. Rev.* 129:569-585
- Chimeno, P., Saldungaray, M.C. Y Adúriz, M.A. 2001. Evolución de la Unidad Económica de la empresa agropecuaria en el Partido de Bahía Blanca

- (Provincia de Buenos Aires). Anales del 1º Congreso Rioplatense de Economía Agraria - XXXII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. pp.208-221. Montevideo, Uruguay.
- Christensen, O. 1999. Relaxation of soil variables in a regional climate model. *Tellus* 51A: 674-685
- Christensen, J.; Räisänen, J.; Iversen, T.; Bjøge, D.; Christensen, O.; Rummukainen, M. 2001. A synthesis of regional climate change simulations—a Scandinavian perspective. *Geophys. Res. Lett.* 28(6):1003–1006
- Christensen, J. & O. Christensen. 2003. Climate modelling: Severe summertime flooding in Europe. *Nature.* 421:805-806.
- Christensen, J.; Carte, T.; Rummukainen, M.; Amanatidis, G. 2007. Evaluating the performance and utility of regional climate models: The Prudence Project. *Clim Change* 81:1-6.
- Deifel K. S.; Kopittke P.M. & Menzies N.W. 2006. Growth response of various perennial grasses to increasing salinity. *Journal of Plant Nutrition.* 29:1573-1584.
- De León M.; Peuser R.A.; Boetto C.; Luna G. & Bulashevich M.C. 1995. Efecto del genotipo y la frecuencia de defoliación sobre la producción de materia seca en gramíneas megatermicas cultivadas. *Revista Argentina de Producción Animal.* 15: 226-228.
- Del Curto, T.; Hess, B.W.; Huston, J.; & Olson, K. 2000. Optimum supplementation strategies for beef cattle consuming low-quality roughages in the western United States. *J. of Ani. Sci.* 77:1-16.
- Demment, M. W.; Peyraud, J. L.; Laca, E. A. 1995. Herbage intake at grazing: a modelling approach. In: Journet, M.; Grenet, E.; Farce, M.H.; Theriez, M.; Demarquilly, C. Eds. *Recent development in Nutrition of Ruminants.* Pp.121-141.
- Denisov, V. V. 2001. Development of the crop simulation system DIASPORA. *Agronomy Journal.* 93:660-666.
- Dent, J. B. & Blackie, M. J. 1979. *Systems simulation in agriculture.* Applied Science Publishers Ltd., London, UK.
- De Rouen, S.; Franke, D.; Morrison, D.; Wyatt, W. ; Coombs, D.; White, T.; Humes, P.; Greene, B. 1994. Parturition body condition & weight influences on reproductive performance of first-calf beef cows. *J. Anim. Sci.* 72:1119–1125.
- Devendra, C. & D. Thomas. 2002. Crop–animal systems in Asia: importance of livestock and characterisation of agro-ecological zones. 2002, *Agricultural Systems.* 71(2):5-15.
- Dickinson, R.; Errico, R.; Giorgi, F.; Bates, GT. 1989. A regional climate model for western United States. *Clim Change.* 15:383–422.
- Di Marco, O.N.; Baldwin, R.; Calvert, C.C. 1989. Simulation of DNA, protein and fat accretion in growing steers. *Agric. Syst.* 29, 21–34.
- Di Renzo, M.A.; Ibanez, M.A.; Bonamico, N.; Faricelli, M.; Poverene, M. & Echenique, V. 2003. Effect of three environments on the efficiency of indirect

- selection in *Eragrostis curvula* (lovegrass) genotypes, *Journal of Agricultural Science* 140: 427–433.
- Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Gonzalez, L.; Tablada, E.; Díaz M.; Robledo, C.; Balzarini, M. 2001. *Estadística para las Ciencias Agropecuarias*. 4ta Ed. Triunfar. Córdoba, Argentina.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Díaz-Solís, H.; Kothmann, M.; Hamilton, W.T. & Grant, W.E., 2003. A simple ecological sustainability simulator (SESS) for stocking rate management on semi-arid grazinglands. *Agric. Syst.* 76, 655–680.
- Díaz-Solís, H; Grant, W.; Kothmann, M.; W.R. Teague & J.A. Díaz-García. 2009. Adaptive management of stocking rates to reduce effects of drought on cow-calf production systems in semi-arid rangelands. *Agricultural Systems*. 100(1):43–50.
- Diez Herrero, A., Laín-Huerta, L.; Llorente-Isidro, M. 2009. *A Handbook on Flood Hazard Mapping Methodologies*, IGME, Madrid, 190 pp.
- Dhima, K.; Lithourgidis, A.; Vasilakoglou, I.; Dordas, C. 2007. Competition indices of common vetch & cereal intercrops in two seeding ratios. *Field Crop Res.* 100: 249-256.
- DiMarco, O.N. & Baldwin, R.L. 1989. Implementation and evaluation of a steer growth model. *Agricultural Systems*. 29, 247-252.
- Ding, Z. & S.L. Yang. 2000. C₃/C₄ vegetation evolution over the last 7.0 Myr in the Chinese Loess Plateau: evidence from pedogenic carbonate $\delta^{13}C$. *Palaeoecology*. 160:291–299.
- Distel, R.; Boo, 1996. Vegetation states & transition in temperate semi-arid rangelands of Argentina. In: *Rangelands in a Sustainable Biosphere*. Ed. West, N. pp 117-118. Denver: Society for Range Management. USA.
- Distel, R.; Didoné, N.; Moretto, A. 2005. Variations in chemical compositions associated with tissues ageing in palatable & unpalatable grasses native to central Argentina. *Journal of Arid Environment*. 62:351-357.
- Dixon R.M. & C.R. Stockdale, 1999. Associative effects between forages and grains: consequences for feed utilisation. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 757-773.
- Doggett, H. 1970. *Sorghum*. Trop. Agric. Series. Longmans. 403 pp.
- Dogliotti, S.; Rossing, W. A.; M. K. Van Ittersum. 2003. ROT AT, a tool for systematically generating crop rotations. *European Journal of Agronomy*. 19(2):239-250.
- Dogliotti, S.; Rossing W.A.H.; Van Ittersum, M.K. 2006. Influence of farm resource endowment on possibilities for sustainable development: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Journal of environmental management*. 78:305 – 315.
- Donari, M.; Scian, B. 1996. Estudio de episodios húmedos y secos en la región triguera V Sur, Argentina. p. 41 -43. *Anales del VII Congreso Argentino de Meteorología y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*.

- Dong, B.; Sutton, R.T.; Scaife, A.A. 2006. Multidecadal modulation of El Niño-Southern Oscillation (ENSO) variance by Atlantic Ocean sea surface temperatures. *Geophys Res Lett* 33:L08705.
- Dono, G; Cortignani, R.; Doro, L.; Giraldo, L.; Ledda, L.; Pasqui, M.; Roggero, P. 2013. Adapting to uncertainty associated with short-term climate variability changes in irrigated Mediterranean farming systems *Agric. Systems* 117: 1-12.
- Donzelli, M.V.; Burges, J.C.; Machado, C.; Faverín, C.; Catalano, R. 2009. Comportamiento reproductivo postparto de vacas de cría con diferente carga animal en pastoreo continuo. *Rev.Arg. Prod. Anim.* 29(1):322-323.
- Donzelli, M.V.; Catalano, R.C; Burges, J.C.; Machado, C.F.. 2010. Efecto de la nutrición sobre la duración del anestro postparto en vacas de cría. *InVet.* 12(2):1-9.
- Doyle, M. E. & V. Barros. 2002. Midsummer low-level circulation and precipitation in subtropical South America and related sea surface temperature anomalies in the South Atlantic. *J. Climate.* 15:3394–3410.
- Dracup, J.; Lee, K.; Paulson, E.G. 1980 a. On the statistical characteristics of drought events. *Water RE. Resources.* 16. 289-296.
- Dracup, J.; Lee,K.; Paulson, E.G.1980 b. On the definition of droughts. *Water RE. Resources.* 16. 297-302.
- Draper, N.R. ; Smith, H. 1998. *Applied Regression Analysis.* John Wiley. Sons Inc., New York, 3rd Ed.
- Droushiotis D.N. 1989. Mixtures of annual legumes and smallgrained cereals for forage production under low rainfall. *Journal of Agricultural Science.* 113: 249–253.
- Du, J.; Mullen, S. & F. Sanders, 1997: Short-range ensemble forecasting of quantitative precipitation. *Mon. Wea. Rev.* 125:2427–2459.
- Dumortier, J.; Hayes, D. J.; Carriquiry, M.; Dong, F.; Du, X.; Elobeid, A.; Fabiosa, J. F.; Tokgoz S. 2012. Sensitivity of carbon emission estimates from indirect I&-use change. *Environ. Res. Lett.* 7:1–9.
- Dyer M. I.; Acra M.A.; Wang G.M.; Coleman D.C.; Freckman D. W.; McNaughton S.J. & Strain B. R. 1991. Source- Sink Carbon relations in two *Panicum coloratum* ecotypes in response to herbivory. *Ecology* 72: 1472-1483.
- Easterling, D.; G. A. Meehl; C. Parmesan; S. A. Changnon; T. Karl & L. O. Mearns. 2000. Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science.*289(5487):2068-2074.
- Ebert, E. E.; 2001: Ability of a poor man's ensemble to predict the probability and distribution of precipitation. *Mon. Wea. Rev.* 129:2461–2480.
- Echenique, C.V. & N.R. Curvetto. 1986. Efecto del déficit hídrico en cinco cultivares de pasto llorón, K (Schrud) Nees. Niveles de clorofila y prolina foliar y permeabilidad de membranas celulares. *Pyton, International Journal of Experimental Botany.* 46: 195-206.
- Edmond, D.B. 1963. Effects of Treading Perennial Ryegrass (*Lolium perenne* L.) and Wither Clover (*Tripholium repens* L.) Pastures in Winter and Summer at Two

- Soil Moisture Levels. *New Zealand Journal of Agricultura Research*. 6:265-276.
- Efron, B; Tibshirani, R. 1993. Bootstrap methods for standard errors, confidence intervals, and other methods of statistical accuracy. *Statistical Science*, 1(1): 54-77.
- Egorov, A. & K. Sabelfeld. 2010. Approximate formulas for expectations of functionals of solutions to stochastic differential equations Monte Carlo Methods and Applications. 16(2): 95-128.
- Ehleringer, J.R. 1978. Implications of quantum yield differences on the distribution of C₃ and C₄ grasses. *Oecologia*. 31:255-267.
- Ehleringer JR, Sage RF, Flanagan LB, Pearcy RW. 1991. Climate change and the evolution of C(4) photosynthesis. *Trends Ecol Evol*. 6(3):95-9.
- Ehleringer J. R.; Cerling T.E. & Helliker E.R. 1997. C₄ photosynthesis, atmospheric CO₂ & climate. *Oecología* 112: 285-299.
- Elizalde, J.C. 1990. Suplementación con silo de maíz en vacunos en pastoreo de avena, ambiente ruminal y dinámica de la digestión. Tesis M. Sc. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. Balcarce. 110p.
- Elizalde, J.C.; Santini, F.; Pasinato, A.M. 1994. The effect of stage of harvest on the processes of digestion in cattle fed winter oats. 1. Digestion of organic matter, neutral detergent fibre & water soluble carbohydrates. *Animal Feed Sci. Technol*. 47:201-211.
- Elizalde, J.C.; Santini, F.; Pasinato, A.M. 1996. The effect of stage of harvest on the processes of digestion in cattle fed winter oats. 2. Nitrogen digestion & microbial protein synthesis. *Animal Feed Sci. Technol*. 63:245-255.
- Edwards, E.J.; Osborne, C.P.; Strömberg, C. & Smith, S.A. 2010. The origins of C₄ grasses: integrating evolutionary & ecosystem science. *Science* 328:587-591.
- Erika, J.; Edwards, J.; Colin, Osborne, P.; Caroline, A. ; Strömberg, E.; Stephen A.; Smith, A. 2010. C₄ Grasses Consortium. The Origins of C₄ Grasses: Integrating Evolutionary & Ecosystem Science. *Science*. 328, 587.
- Escobedo-Amezcuca, F.; Nuncio-Ochoa, M.G.; Herrera-Camacho, J.; Gomez-Ramos, B.; Segura-Correa, J.C.; Gallegos-Sanchez, J. 2010. Effect of restricted suckling on body weight, body condition score & onset of postpartum ovarian activity in F1 cows under tropical conditions. *J. Anim. Vet. Adv*. 9: 79-84.
- Fagioli, M. 1980. Desarrollo del aparato radical de un cultivo de pasto llorón (*Eragrostis curvula* (Schrad) Nees) en un suelo arenoso de la región semiárida pampeana. *IDIA*. 393-394: 77-80.
- FAO, 2004. Uso de fertilizantes por cultivos de Argentina. FAO. Roma. Italia.
- FAO. 2009. Food & Agriculture Organization, Statistical database. The state of Iran Agri-Food country profile. Rome. <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/aquastat/countries/iran>.
- Farmer, C; Cochran, R; Simms, D; Klevesahl, E; Wichersahm, T; Johnson, D. 2001. The effects of several supplementation frequencies on forage use & the

- performance of beef cattle consuming dormant tallgrass prairie forage. *J. Anim. Sci.* 79:2276–2285.
- Farmer, C; Woods, B; Cochran, R; Heldt, J; Mathis, C; Olson, K; Titgemeyer, E; Wickersham, T. 2004. Effect of supplementation frequency & supplemental urea level on dormant tallgrass-prairie hay intake & digestion by beef steers & prepartum performance of beef cows grazing dormant tallgrass-prairie. *J. Anim. Sci.* 82:884-894.
- Feldkamp, C.R., Sanpedro, D.H, Schwartz, H. & Udo, H. 2005 Influencia del manejo sobre el comportamiento de los sistemas de cría 2. Modelo reproductivo. *Rev. Arg. de Prod. Ani.* 25(1):310-311.
- Feller, W. 1965. *An Introduction To Probability Theory & Its Applications*. Wiley International Edition. Second edition. Volume 1. 461 pag.
- Ferrell, C. L., & T. G. Jenkins. 1984. Energy utilization by mature, non-pregnant, nonlactating cows of different types. *J. Anim. Sci.* 58:234–243.
- Fernandez J.; Franchito S.; Rao V. B. 2006. Simulation of the summer circulation over South America by two regional climate models. Part I: Mean climatology. *Theor. Appl. Climatol.* 86:247-260.
- Fernández, J.; Montávez, J.; Sáenz, J.; González-Rouco, J.; Zorita, E. 2007. Sensitivity of the MM5 mesoscale model to physical parameterizations for regional climate studies: Annual cycle. *J. Geophys. Res.* 112,D04101, DOI: 10.1029/2005JD00664.
- Fernandez-Rivera, S.; Lewis, M., Klopfenstein, T.J., Thompson, T.L., 1989. A simulation model of forage yield, quality and intake of growing cattle grazing cornstalks. *Journal of Animal Science* 67: 581–589.
- Ferrando, C.; Berone, G. & Namur, P. 2005. Producción forrajera de 4 especies megatérmicas sometidas a distintas intensidades y frecuencias de defoliación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 25: 207-208.
- Ferrel, C.L.; Oltjen, J.W. 2008. ASAS CENTENNIAL PAPER: Net energy systems for beef cattle Concepts, application, and future models. *J Anim Sci.* 86: 2779 - 2794
- Ferri, C. ; Jouve, V. ; Stritzler, N. & Petruzzi, H. 1998. Estimation of intake & apparent digestibility of kleingrass from in situ parameters measured in sheep. *Anim. Sci.* 67:535-540.
- Ferri, C. M.; Brizuela, M. A.; Cid, M. S.; Stritzler, N. P. 2006. Dinámica de acumulación de láminas foliares y estructura del forraje diferido de *Panicum coloratum* L. *Agric. Técnica.* 66:376-384.
- Ferri, C.; Stritzler, N.; Petruzzi, H. & Cerqueira E. 2000. Effect of amount of *Panicum virgatum* hay offered on intake, apparent digestibility & short-term intake rate of rams. *Anim. Sci.* 71:341-347.
- Ferri, C.M.; Stritzler, N.; Brizuela, M.; Piper, S.; Petruzzi, H. 2001. Efectos de la oferta de pasto sobre la ingestión de ovinos en pastoreo de K L. diferido. *Invest. Agr. Prod. San. Ani.* 16:281-289.
- Ferri, C.; Stritzler, N.; Brizuela M. & Petruzzi, H. 2003. In vivo digestibility of kleingrass from fecal nitrogen excretion. *J. Range Manage.* 56:52-55.

- Ferri, C.M. & Jouve, V. 2008. Relaciones entre la concentración de N y la forrajimasa acumulada en *Panicum coloratum* L. Revista Argentina de Producción Animal 28: 349-543.
- Ferri C.M. 2011. The seasonal and inter-annual patterns of biomass accumulation & the percentage of crude protein percentage in kleingrass (*Panicum coloratum* L.), cv. Verde, in the semiarid Pampean region of Argentina. Journal of Agricultura & Natural Resources. 38(2):191-198.
- Figueroa, S.; P. Satyamurti & P. Silva Dias. 1995. Simulation of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. J. Atmos. Sci. 52:1573–1584.
- Fisher, D.; Burns, J.; Pond, K.; Mochrie, R & D. Timothy. 1991. Effects of grass species on grazing steers: I. Diet composition and ingestive mastication. J. Anim. Sci. 69:1188-98.
- Fisher, R.; Mcdowell, N.; Purves D.; Moorcroft P.; Sitch, S.; Cox, P.; Huntingford C.; Meir, P. & I. Woodward. 2010. Assessing uncertainties in a second-generation dynamic vegetation model caused by ecological scale limitations New Phytol. 187:666–81.
- Flato, G.M. 2005. The Third Generation Coupled Global Climate Model (CGCM3) [Disponible online en <http://www.cccma.bc.ec.gc.ca/models/cgcm3.shtml>.]
- Flores, R.; Looper, M.L.; Rorie, R.W.; Hallford, D.M.; Rosenkrans Jr, C.F. 2008. Endocrine factors and ovarian follicles are influenced by body condition & somatotropin in postpartum beef cows. J.Anim.Sci. 86, 1335-1344.
- Fluharty, F.; S. C. Loerch; T. Turner; S. J. Moeller, & G. D. Lowe. 2000. Effects of weaning age and diet on growth and carcass characteristics in steers. J. Anim. Sci. 78:1759–1767.
- Food & Agriculture Organization of the United Nations. 2009. How to Feed the World in 2050. FAO, Rome.
- Forte Lay, J.A.; Quintela R.M.; Troha, A.; Suarez S. 1984. Características bioclimáticas de las regiones subhúmedas secas y semiáridas de la llanura y bosque pampeano centrales. VIII Reunión Nacional para el estudio de las regiones áridas y semiáridas. Trelew. Chubut.
- Forte Lay, J. A.; Troha, A. Y Villagra, M. M. 1985. Estudio de las variaciones del agua edáfica en pradera permanente, barbecho y cultivos estacionales. Actas de la III a Reunión Argentina de Agrometeorología. (AADA). Vaquerías, Córdoba (Argentina). Pág. 47-53. Marzo de 1987. Actas del XII Congreso Nacional del Agua, Mendoza (Argentina). Vol. Agroecología, Tomo II A, Pág. 181-202.
- Fowler, H.; D. Cooley; S. R. Sain & M. Thurston. 2010. Detecting change in UK extreme precipitation using results from the climateprediction.net BBC climate change experiment. Extremes doi: 10.1007/s10687-010-0101-y.
- Fox, D.G. & Black, J.R. 1977. A System for Predicting Performance of Growing and Finishing Beef Cattle. In: Report of Beef Cattle-Feeding Research, Mich. Agr. Exp. Sta. Res. Rpt., 328:141-162.
- Fox, D.G.; Black, J.R. 1984. A system for predicting body composition and performance of growing cattle. Journal of Animal Science 58: 725-739.

- Fox, D.G.; Sniffen, C.J., O'connor, J.D. 1988. Adjusting nutrient requirements of beef cattle for animal and environmental variations. *Journal of Animal Science* 66: 1475-1495. Referencias Bibliográficas Capítulo VIII 224
- Fox, D.G.; Tedeschi, L.; Tylutki, T.P., Russell, J.B., Van Amburgh, M.E., Chase, L.E., Pell, A.N. and Overton T.R. 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112 :29–78.
- Fox, P. ; Rockströmb, J & J. Barrona. 2005. Risk analysis and economic viability of water harvesting for supplemental irrigation in semi-arid Burkina Faso and Kenya. *Agricultural Systems.* 83(3):231-250.
- France, J. & Thornley, J. H. M. 1984. *Mathematical models in agriculture.* Butterworths. London. UK.
- France, J.; Dijkstra, J., Thornley, J.H.M., Dhanoa, M.S., 1996. A simple but flexible growth function. *Growth Dev. Aging* 60, 71–83.
- Francia, E.; Peccioni, N.; Li Destri Nicosia, O.; Paoletta G.; Taibi, L.; Franco, V.; Odoardi, M.; Stanca, A. Delogu, G. 2006. Dual-purpose barley & oats in a Mediterranean environment. *Field Crop Reserch.* 99:158-166.
- Francis, C.; Lieblein, G.; Gliessman, S.; Brel, T.; Creamer, N.; Harwood, R.; Salomonsson, L.; Helenius, J.; Rickerl, D.; Salvador, R.; Wiedenhoef, M.; Simmons, S.; Allen, P.; Altieri, M.; Flora, C. & R. Poincelot. 2003. *Agroecology: the ecology of food systems.* *Journal of Sustainable Agriculture.* 22 (3):99-118.
- Franco, U. & W. Mirschel. 2001. Integration of a crop growth model with a model of soil dynamics. *Agronomic Journal.* 93: 666-670.
- Frank, A.; Bittman, S. & Johnson, D. 1996. Water Relations of cool-season grasses cool-season forage grasses p.127-164. In L.E. Moser et al (ed.) *Agron. Monogr.* 34.ASA, CSSA, SSSA. Madison. WI. USA
- Freer, M. & Jones, D.B. 1984. Feeding value of subterranean clover, lucerne, phalaris and Wimmera ryegrass for lambs. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Hub.* 24: 156–164.
- Freetly, H; C. L. Ferrell & T. G. Jenkins. 2000. Timing of realimentation of mature cows that were feed-restricted during pregnancy influences calf birth weights & growth rates. *J. Anim. Sci.* 78:2790–2796.
- Freetly, H. C., J. A. Nienaber, & T. Brown-Brand. 2006. Changes in heat production by mature cows after changes in feeding levels. *J. Anim. Sci.*84:1429–1438.
- French, C. 2003. The treynor capital asset pricing model. *Journal of Investment Management.* 1(2): 60-72.
- Friedman, M. 1937. The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. *Journal of American Statistical Association.* 32: 675-701.
- Galina, C.S.; Arthur, G.H.; 1989. Review of cattle reproduction in the tropics. 3. Puerperium. *Anim. Breed. Abstr.* 57:889-910.
- Galloway, D. L. Sr; Goetsch, A. L.; Forster, L. A. Jr.; Sun, W., Johnson, Z. B. 1991. Feed intake & digestion by Holstein steers fed warm or cool season grass

- hays with corn, dried molasses, or wheat middlings. *J. Dairy Sci.* 74:1038–1046.
- Galyean, M. L. & A. L. Goetsch. 1993. Utilization of forage fiber by ruminants. In *Forage cell wall structure and digestibility*. H. G. Jung, D. R. Buxton, R. D. Hatfield, and R. Ralph (Eds). Am. Soc. Agron.; Crop Sci. Soc. Am.; Soil Sci. Soc. Am. Madison. WI. pp 33–71.
- Gandorfer, M.; Pannell, D.; Meyer-Aurich, A. 2011. Analyzing the effects of risk and uncertainty on optimal tillage and nitrogen fertilizer intensity for field crops in Germany. *Agricultural Systems*. 104(8):615-622.
- García, M.; Echenique, C.; García Girou, N.; Curvetto, N.; 1992. Effect of water stress on the content & morphology of epicuticular waxes in *Agropyron*. *Micr. Electr. Biol. Cel.* 16: 1-16.
- Garcia, S.C.; Santini, F.; Elizalde J.C. 2000. Sites of digestion & bacterial protein synthesis in dairy heifers fed fresh oats with or without corn or barley grain. *J. Dairy Sci.* 83:746-755.
- Garcia, M.G; Busso, C.; Polci, P; Garcia Girou, N.; Echenique, V. 2002. Water relations & leaf growth rate of three *Agropyron* genotypes under water stress. *Biocell* 26:309–317.
- Garcia Girou, N. & Curvetto, N. 1988. Osmo-regulación en cultivares contrastantes de trigo y su relación con la etapa del desarrollo. *An. Edafo. I Agrobiol.* 46:1261-1276.
- García, F.; Sainz, R.D.; Agabriel, J.; Barioni, L.G. & Oltjen, J.W. 2008. Comparative analysis of two dynamic mechanistic models of beef cattle growth. *Animal Feed Science and Technology* 143: 220-241.
- Gardner, J.; Maranville, J.; Papparozzi, E. 1994. Nitrogen use efficiency among diverse *Sorghum* cultivars. *Crop Science* 34:728–733.
- Gargano, O.A. & Adúriz, M.A. 1984. Manejo de la defoliación y fertilización nitrogenada en pasto llorón, *Eragrostis curvula* cv. Tanganyka. I. Rendimiento de material seca, digestibilidad in vitro y rendimiento de materia seca digestible. *Revista de la Facultad de Agronomía (UBA)*. 5: 7-14.
- Gargano, A.O.; Adúriz, M.A. & Laborde, H.E. 1988. Evaluación de cuatro gramíneas templadas perennes. 2. Digestibilidad in vitro y proteína bruta. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 8(5): 385-395.
- Gargano, A.O., Adúriz, M.A. & Saldungaray, M.C. 1990. Sistemas Agropecuarios de Bahía Blanca. 1. Clasificación y Descripción Mediante Indices. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 10 (5): 361-371.
- Gargano, A.O., Adúriz, M.A. & Saldungaray, M.C. 1997a. Evaluación de *Digitaria eriantha* y *Eragrostis curvula* durante el ciclo de crecimiento y en diferimiento. 1. Rendimientos de materia seca. *Revista Argentina de Producción Animal.* 17: 365–373.
- Gargano, A.O.; Adúriz, M.A., Saldungaray, M.C. & Canelo, S. 1997b. Evaluación de *Digitaria eriantha* y *Eragrostis curvula* durante el ciclo de crecimiento y en diferimiento. 2. Digestibilidad in vitro y proteína bruta. *Revista Argentina de Producción Animal.* 17: 375–384.

- Gargano, A.O. & M.A. Adúriz, 2000. Modelos agropecuarios integrales para Bahía Blanca y Coronel Rosales, Argentina. Arch. Latinoam. Prod. Anim 8 -1-: 24-33.
- Gargano, A.O., Aduriz, M.A. Y M.C. Saldungaray, 2001a. Yield & quality fertilized deferred forage of *Eragrostis curvula* & *Digitaria eriantha*. J. Arid Environ. 47: 181-189.
- Gargano, A.O.; Aduriz, M.A.; Arelovich, H.M. & M.I. Amela, 2001b. Forage Yield & nutritive value of *Eragrostis curvula* & *Digitaria eriantha* in south semi-arid Argentina. Tropical Grassl&s 35:161-167.
- Gargano, A.O.; Aduriz, M.A.; Busso, C.A. & M.I. Amela, 2003. Nitrogen & row spacing in *Digitaria eriantha*. Production & Digestibility. J. Range Manage. 56:483-488.
- Gargano, A.O.; Adúriz, M.A. & Busso, C.A. 2004. Nitrogen & row spacing effects on crude protein & N use efficiency & recovery in *Digitaria eriantha*. J. Range Manage. 57: 482-488.
- Gargano, A.O.; Aduriz, M.A. & M.C. Saldungaray, 2006. Evaluación de gramíneas estivales perennes fertilizadas con nitrógeno. Rev. Arg. Prod. Anim 26:89-99.
- Gargano, A.O.; Aduriz, M.A. & M.C. Saldungaray. 2007. Evaluación de Forraje diferido de *Panicum coloratum* cv Verde fertilizado con nitrógeno. Rev.FAc. Agronomía UBA, 27 (1):55-62.
- Garnier, E; Laurent, G.1994. Leaf anatomy, specific mass & water contents in congeneric annual & perennial grass species. New Phytologist 128:725-736.
- Garrand, L. 1983. Some improvements & complements to the infrared emissivity algorithm including a parameterization of the absorption in the continuum region. J. Atmos. Sci. 40:230-244.
- Garreau, R. & Falvey M. 2008. The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios. Int. J. Climatol 29: 543-554.
- Gates, C.; Haydock K.; Claringbold, P & Robins, F. 2009. Growth of varieties of three *Sorghum* species at different levels of salinity. Australian Journal of Experimental Agriculture & Animal Husbandry 6:161– 169.
- Gay, C. 2010. Cambio Climático. Retos y perspectivas. Revista De La Universidad Iberoamericana. 1 (0):22-29.
- Gazanchian, A.; Hajheidari, M.; Sima, N. & Salekdeh, G. 2007. Proteome response of *Elymus elongatum* to severe water stress & recovery. Journal of Experimental Botany. 58(2):291–300.
- Geary, T.W., Whitter, J.C., Hallford, D.M. & Mac Neil, M.D. 2001. Calf removal improves conception rates to the Ovsynch & Co-Synch protocols. J. Anim. Sci., 79: 1-9.
- Gibbs, W.J. 1965. Drought its definition, delination & effects. WMO Special Enviromental Report 5:1-39.
- Gibbs, W.J. & Maher, J.V. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Australian Bureau of Meteorology, Bulletin 48: 37 p, Melbourne.

- Gillen, R. L., & F. T. McCollum. 1992a. Effect of stocking rate on livestock gain & economic return. Pages 3–5 in the Marvin Klemme Range Res. Stn. Field Day Rep., Oklahoma Agric. Exp. Stn., Stillwater.
- Gillen, R. L.; McCollum, F. T.; Hodges, M. E. & K. W. Tate. 1992b. Livestock response to grazing systems and stocking rate on tall-grass prairie. Pp. 420–424 in Oklahoma Agric. Exp. Stn. MP-136, Stillwater.
- Guillen, R & Berg, W. 2005. Response of Perennial Cool-Season Grasses to Clipping in the Southern Plains. *Agronomy Journal*. 97(1):125-130.
- Giorgi, F. 1990. On the simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model, *J.Climate*. 3:941-963.
- Giorgi F. & Bi X.. 2000. A study of internal variability of regional climate model. *J. Geophys. Res.* 105:29503-29521.
- Giorgi, F.; Bi, X., & Pal, J.S. 2004. Mean, interannual variability & trends in a regional climate change experiment over Europe. I. Present-day climate (1961-1990).
- Giorgi, F. 2008. A simple equation for regional climate change & associated uncertainty. *J Climate*. 21:1589–1604.
- Giraldo, L. M; Lizcano, L. J.; Gijsman, A.J.; Rivera, B. & L. H. Franco. 2007. Adaptación del modelo DSSAT para simular la producción de *Brachiaria decumbens*. *Pasturas Tropicales*. 20: 2-12.
- Gliessman, S.R. 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Goetsch, A.L. & Owens, F.N. 1985. The effects of commercial processing method of cottonseed meal on site & extent of digestion in cattle. *Journal of Animal Science* 60: 803-813.
- Goldstein, L.; D. Lay, D. Schneider. 1980. *Calculus and Its Applications*. Prentice-Hall. New Jersey. 610 p.
- Gordon, C.; Cooper, C; Senior, C; Banks, H; Gregory, J.; Johns T.; Mitchell J & Wood R. 2000. The simulation of SST, sea ice extent and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*. 16: 147-168.
- Gordon, H.; Rotstayn LD.; McGregor JL.; Dix MR.; Kowalczyk E.; O'Farrell S.; Waterman L.; Hirst A.; Wilson S.; Collier M.; Watterson I.; Elliott T. 2002. The CSIRO Mk3 Climate System Model [Publicación electrónica]. Aspendale: CSIRO Atmospheric Research. (CSIRO Atmospheric Research technical paper; no. 60). 130 pp. (http://www.dar.csiro.au/publications/gordon_2002a.pdf).
- Gradiz, L. ; Sugimoto, A.; K., Ujihara; S., Fukuhara; A.K. Kahi & H. Hirooka. 2007. Beef cow–calf production system integrated with sugarcane production: Simulation model development and application in Japan. *Agricultural Systems*. 94(3):750-762.
- Graveline, N.; Loubier, S.; G. Gleysesb; J. Rinaudo. 2012. Impact of farming on water resources: Assessing uncertainty with Monte Carlo simulations in a global change context. *Agricultural Systems*. 108:29–41.

- Greenwood, D. J.; Lemaire, G.; Gosse, G.; Cruz, P.; Draycott, A. & Neeleson, J.J. 1990. Decline in Percentage N of C₃ & C₄ Crops with Increasing Plant Mass. *Annals of Botany*. 66:425-436
- Gregory, P. 2006. *Plant Roots. Growth, activity & interaction with soils*. Blackwell Publishing. 340 pp.
- Grell, G. 1993a. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon. Wea. Rev.* 12: 764-787.
- Grell, G.; Dudhia, J. & Stauffer, D.R. 1993b. A description of the fifth-generation Penn System/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Tech Note NCAR/TN - 398+1A, 107 pp.
- Grell, G.; Schade, L.; Knoche, R.; Pfeiffer, A.; Egger, J. 2000. Nonhydrostatic climate simulations of precipitation over complex terrain. *J. Geophys. Res.* 105(29):595-608.
- Griffin, K. 1994. Calorimetric estimated of construction cost & their use in ecological studies. *Functional Ecology*. 8:552-562.
- Grime, J. 2001. *Plant strategies, vegetation processes, & ecosystem properties*. Wiley New York, pp 417.
- Grimm, A. M.; V. Barros & M. E. Doyle. 2000. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*. 13:35–58.
- Grimm, A. M., 2003. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences. *J. Climate*, 16, 263–280.
- Grimm, A.M & Tedeschi, R.G. 2009. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. *Journal of Climate*. 22:1589-1609
- Gronow, C; Little, S. & G. Cleary. 2010. Managing production system risk: An application of Monte Carlo simulation to Tasmanian dairy farm data. *Proceedings of the 4th Australasian Dairy Science Symposium 2010*. 265-260.
- Grunow, J.O. & Rabie, J.W. 1985. Production & quality norms of certain grass species for fodder flow planning: Pretoria area. *Journal of the Grassl & Society of South Africa*. 2: 23–28.
- Guerrero, J. N.; Conrad, B. E.; Holt, E. C. & H. Wu. 1984. Production of animal performance on bermudagrass pasture from available forage. *Agron. Journal*. 76:577–580.
- Guerrero, V.M.; Peña, D. 2000. Linear Combination of information in Time Series with Linear Restrictions. *Journal of Forecasting*, 19: 103-122.
- Guilyardi, E.; A. Wittenberg; A. Fedorov; M. Collins; C. Wang; A. Capotondi; G. Oldenborgh; T. Stockdale. 2008. Understanding El Nino in ocean-atmosphere general circulation models: Progress and challenges. *Bull American Meteor Soc.* 90(3), 325-340.
- Gunter, S.; Beck, P.; Hutchison S. & J. M. 2005. Phillips Effects of stocking and nitrogen fertilization rates on steers grazing dallisgrass-dominated pasture. *J. Anim. Sci.* 2005. 83(9):2235-2242.

- Gutiérrez, C. N.; Palacios, V. E.; Peña, D. S. & V. Palacios. 2002. Escenarios para el aprovechamiento del acuífero del Valle de Querétaro. *Agrociencia*. 36:1-10.
- Haimes, Y.Y. 1998. Risk modeling, assessment and management. Ed Wiley. USA.
- Hajheidari, M.; Abdollahian-Noghabi, M.; Askari, H.; Hedari, M.; Sadeghian, S.; Ober, E.; Hosseini Salekdeh, G. 2005. Proteome analysis of sugar beet leaves under drought stress. *Proteomics* 5:950–960
- Hall, F.J.; Huntington, G. 2008. Nutrient Synchrony: Sound in theory, elusive in practice. *J. Ani. Sci.* 86: 287-292.
- Hammer, G ; Broad, I. 2003. Genotype & environment effects on dynamics of harvest index during grain filling in *Sorghum*. *Agron. Journal*. 95: 199-206.
- Hammer G.; Van Oosterom, E.; McLean G.; Chapman S.; Broad I.; Harl & P & Muchow R. 2010. Adapting APSIM to model the physiology & genetics of complex adaptive traits in field crops. *Journal of Experimental Botany*. 61:2185–2202.
- Hamill, T., 1999: Hypothesis tests for evaluating numerical precipitation forecasts. *Wea. Forecasting*. 14: 155–167.
- Hardaker, J. B.; Lien, G. 2007: Rationalising Risk Assessment: Applications to Agricultural Business. *Australasian Agribusiness Review*. 15:75-93.
- Hardaker, J. & G. Lien. 2010. Probabilities for decision analysis in agriculture and rural resource economics: The need for a paradigm change. *Agricultural Systems*. 103(6):345-350.
- Hargreaves, N. 1960. Precipitation probabilities in the North Central States. Bulletin 753. Univ of Missouri Agriculture Experiment Station. St. Louis. MO. p.72.
- Hartigan, J.A. 1981. Consistency of single linkage for high-density clusters. *Journal of the American Statistical Association*, 76: 388-394
- Hartmann, D. 1994. *Global Physical Climatology*. Academic Press.
- Harvey, R. ; J. C. Burns, T. N. Blumer & A. C. Linnerud. 1975. Influence of early weaning on calf and pasture productivity. *J. Anim. Sci.* 41:740.
- Hasumi, H.; Emori S. (Eds.) 2004. K-1 coupled model (MIROC) description, K-1 technical report, 1, Center for climate system research, University of Tokyo, 34 pp. Disponible en: <http://www.ccsr.utokyo.ac.jp/kyosei/hasumi/MIROC/tech-repo.pdf>
- Hayashi, M.; Fujita, N.; Yamauchi, A. 2007. Theory of grazing optimization in which herbivory improves photosynthetic ability. *Journal of Theoretical Biology*. 248: 367-376.
- Heckathorn, S. A.; McNaughton, S. & J. S. Coleman. 1999. Plants & herbivory. In *C₄ Plant Biology*, R. F. Sage, R. K. Monson, Eds. Academic Press, San Diego, pp. 285–312.
- Hegerl, G.; Hasselmann, K.; Cubasch, U.; Mitchell, J.; Rodhe, H.; Roeckner, E.; Voss, R.; Waskewitz, J. 1997. On multi-fingerprint detection & attribution of greenhouse gas and aerosol forced climate change. *Clim Dyn*. 13:613–634

- Heim, R. R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 83:1149–1165.
- Heldt, J; Cochran, R; Mathis, C; Woods, B; Olson, K; Titgemeyer, E; Nagaraja, T; Vanzant, E; Johnson, D. 1999. Effects of level & source of carbohydrate & level of degradable intake protein on intake & digestion of low-quality tallgrass-prairie hay by beef steers. *J. Anim. Sci.* 77:2846–2854.
- Hendrickson, J; Berdahl, J; Liebig, M.; Karn, J. 2005. Tiller Persistence of Eight Intermediate Wheatgrass Entries Grazed at Three Morphological Stages. *Agronomy Journal.* 97: 5: 1390-1395.
- Henseler, M.; Wirsig, A.; Herrmann, S.; Krimly, T. & S. Dabbert . 2009. Modeling the impact of global change on regional agricultural land use through an activity-based non-linear programming approach. *Agricultural Systems.* 100:31-42.
- Hess, B.; Park, K.; Krysl, L.; Judkins, M; McCracken, B. & Hanks, D. 1994. Supplemental protein for beef cattle grazing dormant intermediate wheatgrass pasture: effects on nutrient quality, forage intake, digesta kinetics, grazing behavior, ruminal fermentation, & digestion. *J. Anim. Sci.* 72:2113-23.
- Hess, B.W.; Lake, S.L.; Scholljegerdes, E.J.; Weston, T.R.; Nayigihugu, V.; Molle, J.D.C; Moss, G.E. 2005. Nutritional controls of beef cow reproduction. *J. Anim. Sci.* 83: E90-106.
- Hesse, M. B. 1963. *Models & analogies in science.* London. Sheed & Ward.
- Herms, D.; Mattson, W. 1992. the dilemma of plants: to growth or defend. *Quarterly Review of Biology.* 67:283-335.
- Hersom, M.J. 2008. Opportunities of enhanced performance and efficiency through nutrient synchrony in forage-fed ruminant. *J. Ani. Sci.* 86:306-317.
- Herrero, M.; Fawcett, R.H.; Dent, J.B. 1999. Bio-economic evaluation of dairy farm management scenarios using integrated simulation & multiple-criteria models. *Agricultural systems.* 62(3):169-177.
- Herrero, M.; Fawcett, R.H.; Silveira, V., Busqué, J., Bernués, A. & Dent, J.B. 2000. Modelling the growth and utilisation of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*) under grazing. 1. Model definition and parameterisation. *Agric. Syst.* 65: 73-97.
- Herring, W.O.; Miller, D.C., Bertrand, J.K., Benyshek, L.L. 1994. Comparison of live and carcass equations predicting percentage of cutability, retail product weight, and trimmable fat in beef cattle. *Journal of Animal Science* 72: 1107-1118.
- Herring, W.; Kriese, L.; Bertrand, J. & J. Crouch. 1998. Comparison of four real-time ultrasound systems that predict intramuscular fat in beef cattle. *J. Ani. Sci.* 76(2):364-370.
- Hertwich, E.; McKone T. & W. Pease. 2000. A Systematic uncertainty analysis of an evaluative fate and exposure model. *Risk Analysis J.* 20(4):439–454
- Hilbert, D.; Swift, D.; Detling, J.; Dyers, M. 1981. Relative growth rates & the grazing optimization theory. *Oecologia.* 51:14-18.

- Hobbie, S. 1992. Effects of plants especies on nutrient cycling. Trends in Ecology&Evolution. 7:336-339.
- Hoch, T & J., Agabriel. 2004 a. A mechanistic dynamic model to estimate beef cattlegrowth and body composition: 1. Model description. Agricultural Systems. 81(1):1-15.
- Hoch, T & J., Agabriel. 2004 b. A mechanistic dynamic model to estimate beef cattlegrowth and body composition: 2. Model evaluation. Agricultural Systems. 81(1):17-35.
- Hochman, Z. & C.J. Pearson. 1991. Evaluation of an expert system on crossbreeding beef cattle. Agricultural Systems. 37(3):259-274.
- Hoffman, J.; Nuñez, S.; Gomez, A.1987. Fluctuaciones de la precipitación en la Argentina, en lo que va del siglo. Anales del II Congreso Interamericano y V Congreso Argentino de Meteorología. 12.1: 1-5.
- Holden, N.; Brereton, A.J., Fitzgerald, J. 2007. A dynamic dairy system simulation model. In: Making Science Work on the Farm. A Workshop on Decision Support Systems for Irish Agriculture. Ed: N. M. Holden, T. Hochstrasser, R. P. O. Schulte, S. Walsh. Dublin, Ireland.
- Holland, J.; Daniells, I.; Young, R.; Bernardi, A. 1996. Relationship between yield of grain *Sorghum* & soil salinity under fields conditions. In: Proc. 8th. Australian Agronomy Conference. Australia.
- Holmann, F. 2000. El uso de modelos de simulación como herramienta para la toma de decisiones en la promoción de nuevas alternativas forrajeras: el caso de Costa Rica y Perú. En: XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). Montevideo, Uruguay. 24 p.
- Horn G. ; M. Cravey; F.T. McCollum; C.A. Strasia; E. Krenzer & P.L. Claypool, 1995. Influence of high-starch vs high-fiber energy supplements on performance of stocker cattle grazing wheat pasture and subsequent feedlot performace. J. Anim. Sci. 73:45-54.
- Hong S, Pan H (1996): Non-local boundary layer vertical diffusion in a Medium-Range Forecast model. Mon Wea Rev 124: 2322-2339.
- Houghton, P.L.; Lemenager, R.P.; Horstam, L.A.; Hendrix, K.S.; Moss, G.E. 1990. Effect of body composition, pre and post partum energy level and early weaning on reproductive performance of beef cows and preweaning calf gain. J.Anim.Sci. 68: 1438- 1446.
- House, L.R. 1985. A guide to *Sorghum* breeding. 2nd edition. Patancheru, &hra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 165 pp.
- Hsie, E.; Anthes R.; Keyser D. 1984. Numerical simulation of frontogenesis in a moist atmosphere. J. Atmos. Sci. 41: 2581-2594.
- Hudson,M.; Banta, J.; Buchanan, D; & D. L. Lalman. 2010. Effect of weaning date (normal vs. late) on performance of young & mature beef cows & their progeny in a fall calving system in the Southern Great Plains. J. Anim. Sci. 88(4):1577-1587

- Hughes, R. G. 1997. Models and representation. *Philosophy of Science* 64(4):325-336.
- Hulme, M.; Jenkins, G.; Lu, X.; Turnpenny, J.; Mitchell, T.; Jones, R.; Lowe, J.; Murphy, J.; Hassell, D.; Boorman, P.; McDonald, R.; Hill, S. 2002. Climate change scenarios for the United Kingdom: the UKCIP02 scientific report. Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK, 120 pp.
- Hutchings, T. & T.L. Nordblom. 2011. A financial analysis of the effect of the mix of crop and sheep enterprises on the risk profile of dryland farms in south-eastern Australia. *Australian Farm Business Management Journal*. 8(1):20-42.
- Huyen, L.T.T.; Herold, P. & A. Valle Zárate. 2010. Farm types for beef production and their economic success in a mountainous province of northern Vietnam. *Agricultural Systems*. 103(3):137-145.
- Hyams, D. 2005. Curve expert versión 1.4. A comprehensive curve fitting package for Windows. USA.
- Illius, A. W.; J. F. Derry A. & I. J. Gordon. 1998. Evaluation of strategies for tracking climatic variation in semi-arid grazing systems. *Agricultural Systems*. 57(3): 381-398.
- Ingvartsen, K. L. 1994. Models of voluntary food intake in cattle. *Livest. Prod. Sci.* 39:19-38.
- INRA, 1989. Institut National de la Recherche Agronomique. In: Jarrige, R. (Ed.), *Ruminant Nutrition: Recommended Allowances and Feed Tables*. John Libey, Eurotext, Montrouge, France.
- INTA. 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires (1:500.000). INTA-SAGPyA
- INTA. 2000. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires (1:50.000). INTA.
- IPCC, 2000. Land Use, Land Use Change, and Forestry. Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Watson, R.; Noble, R.; Boblin, B.; Ravindranath, N.; Verardo, D.; Dokken, D (Eds.)) Cambridge University Press. United Kingdom & New York . USA. pp 377.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007. The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S. D.; Quin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & Miller (Eds.)) Cambridge university Press united Kingdom & New York . USA.
- Islam, S. & Rehman N. 2009. Future change in the frequency of warm and cold spells durations over Pakistán simulated by the PRECIS regional climate model. *Clim Change*. DOI: 10.1007/s10584-009-9557-7.
- Izquierdo, L.; Galán, J.; Santos, J.; Del Olmo, R. 2008. Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales* 16:85-112.

- Jamieson, W.S. & J. Hodgson. 1979. The effects of variation in sward characteristics upon the ingestive behaviour and herbage intake of calves and lambs under a continuous stocking management. *Grass Forage Sci.* 34:273-282.
- Janovick, N. A.; Russell, J.; Strohbahn, D.; Morrill, G. 2004. Productivity & hay requirements of beef cattle in a Mid-western year-round grazing system. *J. Anim. Sci.* 82:2503–2515.
- Jefferson, P.; Johnson, D.; Rumbaugh, M.; Asay, K.; 1989. Water stress & genotypic effects on epicuticular wax production of alfalfa & crested wheatgrass in relation to yield & excised leaf water loss rate. *Can. J. Plant. Sci.* 69: 481-490.
- Jenks, M.; Hasegawa, P. & Mohan Jain S. 2007. Advances in molecular breeding toward drought & salt tolerant crops. Dordrecht. The Netherl Springer.
- Jenkins, T. G., & C. L. Ferrell. 1984. A note on lactation curves of crossbred cows. *Anim. Prod.* 39:479–482.
- Jenkins, T. G., & C. L. Ferrell. 2004. Preweaning efficiency for mature cows of breed crosses from tropically adapted *Bos indicus* & *Bos taurus* and un-adapted *Bos taurus* breeds. *J. Anim. Sci.* 82:1876–1881.
- Jenkins, T. G., C. L. Ferrell, & A. J. Roberts. 2000. Lactation and calf weight traits of mature crossbred cows fed varying daily levels of metabolizable energy. *J. Anim. Sci.* 78:7–14.
- Jiang, Q. & Grafton, R. 2012. Economic effects of climate change in the Murray–Darling Basin, Australia. *Agricultural Systems.* 110:10-16
- Joandet, G.E.; Cartwright, T.C. 1975. Modeling Beef Production Systems. *Journal of animal science* 41(4): 1238-1245.
- Johns, T.; Durman, C.; Banks, H.; Roberts, M.; McLaren, A.; Ridley J.; Senior C.; Williams, K.; Jones, A, Rickard G.; Cusack S, Ingram W.; Crucifix M, Sexton, D.; Joshi, M.; Dong B.; Spencer H.; Hill R.; Gregory J.; Keen A.; Pardaens, A.; Lowe, J.; Bodas-Salcedo A, Stark S, Searl Y. 2006. The new Hadley Centre climate model HadGEM1: Evaluation of coupled simulations. *Journal of Climate* 19: 1327-1353
- Jonhson, R; Turner, N. 1978. Osmotics adjustment in leaves of *Sorghum* in response to water deficit. *Plant Physiology.* 61:122-126.
- Johnson, I. & Parsons, A.J., 1985. A theoretical analysis of grass growth under grazing. *Journal of Theoretical Biology* 112, 345-368.
- Johnson, J A; Caton, J.; W. Pol & D. Kirby & Dhuyvetter, D. 1998. Influence of season on dietary composition, intake, & digestion by beef steers grazing mixed-grass prairie in the northern Great Plains. *J. Anim. Sci.* 76:1682-90.
- Johnston, W.; & Shoemark, V. 1997. Establishment & persistence of palatable taxa of *Eragrostis curvula* complex in southern New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37(1): 55–65.
- Johnston, W.; Cornish, P.; Shoemaker, V. 2005. *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees. Complex pastures in southern New South Wales, Australia: a comparison with *Medicago sativa* L. & *Phalaris aquatica* L. pastures under rotational grazing, *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45: 401–420

- Jones, M.; Turner, N. 1978. Osmotic adjustment in leaves of *Sorghum* in response to water deficits. *Plant Physiol.* 61: 122-126.
- Jones, M.; Turner, N. 1980. Osmotic adjustment in expanded & contracted leaves of sunflowers in response to water deficits. *Aust J Plant Physiol* 7: 181-192.
- Jones, P. ; T. Osborn; K. Briffa; C. Folland; E. Horton, L. V. Alexander, D. E. Parker & N. A. Rayner. 2001. Adjusting for sampling density in grid box land and ocean surface temperature time series, *J. Geo. Res.*, 016, D4, 3371–80, (2000JD900564).
- Jones, P. D. & A. Moberg. 2003. Hemispheric and LargeScale Surface Air Temperature Variations: An Extensive Revision and an Update to 2001, *J. Clim.* 16, 206–23.
- Jones, R.; F. Chiew; W. Boughton & L. Zhang. 2006. Estimating the sensitivity of mean annual runoff to climate change using selected hydrological models. *Advances in Water Resources*, 29(10):1419–1429.
- Jordan, W. & Sullivan, C. 1982. Reaction & resistance of grain *Sorghum* to heat & drought. Pages 131–412 in *Sorghum in the eighties: proceedings of the International Symposium on Sorghum, 2–7 November 1981, ICRISAT, Patancheru, India. Patancheru, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.*
- Jordan, D.; Hunt, C.; Cruickshank, A.; Borrell, A.; K& Henzell, R. 2012. The relationship between the stay-green trait & grain yield in elite *Sorghum* hybrids grown in range of environments. *Crop Science* 52:1153– 1161.
- Joubert, A. M.; J. J. Katzfey; J. L. McGregor & K. C. Nguyen. 1999. Simulating midsummer climate over southern Africa using a nested regional climate model. *J. Geophys. Res.*, 104:19015-19025.
- Juan, N.A & Jouli, R.R. 1998. Silaje de sorgo granífero y verdeo de avena para invernada a campo. 22° Congreso Rev. Arg. Prod .Anim. 18(1) 123-124.
- Kahn, H., Lehrer, A.R. 1984. A dynamic model for the simulation of cattle herd production systems: III. Reproductive performance of beef cows. *Agric. Systems.* 13:143–159.
- Kalnay E.& M. Cai. 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature.* 423:528-31.
- Kassahun, B.; Bidinger, F.; Hash, C & Kuruvinashetti, M. 2010. Stay-green expression in early generation *Sorghum* [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] QTL introgression lines. *Euphytica.* 172(3):351–362.
- Katayama, K.; Mizuta R.; Yoshimura, A.; Yokimoto, M.; Hawaii, H. & M. Nakagawa. 2006. 20-km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model—mean climate states. *J. Meteorol. Soc. Japan.* 84:165–185.
- Kato, H.; H. Hirakuchi; K. Nishizawa & F. Giorgi. 1999. Performance of the NCAR RegCM in the simulations of June and January climates over eastern Asia and the high-resolution effect of the model. *J. Geophys. Res.* 104;6455-6476.

- Kattenberg, A.; Giorgi F.; Grassl H.; Meehl G.; Mitchell J.; Stouffer R.; Tokioka T.; Weaver A.; Wigley T. 1996. Climate models-projections of future climate. In: Kattenberg A, Maskell K Climatic Change (2010) 98:449–469 469.
- Kattenberg A.; Giorgi F.; Grassl H.; Meehl G.; Mitchell J.; Stouffer R.; Tokioka T.; Weaver A.; Wigley T. 2010. Climate models-projections of future climate. Climatic Change. 98:449–469
- Kaufman, J.; & N. Kalaitzandonakes. 2011. Mitigating environmental externalities in livestock production through feed biotechnologies Agricultural Systems. 104(9)770-780.
- Kawasaki, S.; Miyake, C.; Kohci, T.; Fujii, S.; Uchida, M.; Yokota, A. 2000. Response of wild watermelon to drought stress: accumulation of an ArgE homologue & citrulline in leaves during water deficits. Plant Cell Physiology. 4: 864–873
- Keele, J.; Williams, C.B.; Bennett, G.L., 1992. A computer model to predict the effects of level of nutrition on composition of empty body gain in beef cattle. I. Theory and development. J. Anim. Sci. 70: 841–857.
- Keeley, J. E. & P. W. Rundel. 2003. Evolution of CAM and C₄ carbon-concentrating mechanisms. Int. J. Plant Sci. 164(3): 55-77.
- Kjellström, E. & Barring L. 2006. Evaluating the methods of pattern-scaling in time. Geophys Res Abstr 8:09991.
- Klee, G.; Ruiz, I.; Acuña, H. 1984a. Evaluación de sistemas de producción de carne en la precordillera de Bío Bío. I. Un sistema utilizando sólo trébol subterráneo como recurso alimenticio. Agric. Técnica. 44:27-38.
- Klee, G.; Ruiz, I.; Acuña, H. 1984b. Evaluación de sistemas de producción de carne en la precordillera de Bío Bío. II. Utilización de la pradera de trébol subterráneo mejorada y uso limitado de concentrado. Agric. Técnica 44:45-54
- Kleijnen, J. 1995. Verification and validation of simulation models. European Journal of Operational Research, 82(1):145-162.
- Kluyts, J.; Naser, F., Bradfield, M. 2003. Development of breeding objectives for beef cattle breeding: derivation of economic values: review article. South African Journal of Animal Science 33(3): 142-158.
- Kidson, J.W. & Thompson C.S. 1998. A comparison of statistical & model-based downscaling techniques for estimating local climate variations. Journal of Climate. XI(4):735-753.
- Kilpatrick, D.J. & R. Steen. 1999. A predictive model for beef cattle growth and carcass composition. Agricultural Systems. 61(2):95-107.
- Kim, J.W.; Chang, J.T.; Baker, N.L.; Wilks, D.; Gates, W. 1984. The statistical problem of climate inversion: determination of the relationship between local climate & large scale. Monthly Weather Review 112: 2069-2077.
- Kirkham, M.; Smith, E.; Dhanasobhon, C. & Drake, T. 1980. Resistance to water loss of winter wheat flag leaves. Cereal Res. Commun. 8: 393-399.
- Kissinger, L.; Lorenzana, R.; B. Mittl; M. Lasrado; S. Iwenoful; V. Olivo; C. Helba; P. Capoeman; A. Williams. 2010. Development of a computer-assisted

- personal Interview software system for collection of tribal fish consumption data. *Risk Analysis J.* 30(12)1833–1841.
- Kitoh, A.; Kusunoki S. & Nakaegawa T. 2011. Climate change projections over South America in the late 21st century with the 20 and 60 km mesh Meteorological Research Institute atmospheric general circulation model (MRI-AGCM). *J. Geophysical Res.* vol 116 D06105, DOI: 10.1029/2010JD014920.
- Khedr, A.; Abbas, M.; Abdel Wahid, A.; Quick, W.; Abogadallah, G. 2003. Proline induces the expression of saltstress- responsive proteins & may improve the adaptation of *Pancratium maritimum* L. to salt-stress. *Journal of Experimental Botany.* 54:2553–2562.
- Khizzah, B. Miller, F. & Newton, R. 1993. Inheritance & heritability of heat tolerance in several *Sorghum* cultivars during the reproductive phase. *African Crop Science Journal.* 1:81–85
- Komarek, A.; McDonald, C.; Bell, L.; Whish, J.; Robertson, M.; N., MacLeod & W., Bellotti. 2012. Whole-farm effects of livestock intensification in smallholder systems in Gansu, China. *Agricultural Systems.* 109:16-24.
- Koohafkan, P. 1998. The challenges of soil science & sustainable development. Conferencias y debates introductorios del XVI Congreso Mundial de las Ciencias del suelo. Montpellier, Francia.
- Koster, H; Cochran, R; Titgemeyer, E; Vanzant, E; Abdelgadir, I; St-Jean, G. 1996. Effect of increasing degradable intake protein on intake & digestion of low-quality, tallgrass-prairie forage by beef cows. *J. Anim. Sci.* 74:2473–2481.
- Koster, H; Cochran, R; Titgemeyer, E; Vanzant, E; Nagaraja, T; Kreikemeier, K; St. Jean, G. 1997. Effect of increasing proportion of supplemental nitrogen from urea on intake & utilization of low-quality, tallgrass-prairie forage by beef steers. *J. Anim. Sci.* 75:1393 – 1399.
- Koster, H; Woods, B; Cochran, R; Vanzant, E; Titgemeyer, E; Grieger, D; Olson, K; Stokka, G. 2002. Effect of increasing proportion of supplemental N from urea in prepartum supplements on range beef cow performance & on forage intake & digestibility by steers fed low-quality forage. *J. Anim. Sci.* 80:1652–1662.
- Kraatz, S. 2012. Energy intensity in livestock operations – Modeling of dairy farming systems in Germany. *Agricultural Systems.* 110:90-106
- Krepper, c.; Scian, B; Pierini, J. 1987. Variabilidad de la precipitación en la región sudoccidental Pampeana. *Anales del 2º Congreso Interamericano de Meteorología y V Congreso Argentino de Meteorología.* Cap. 12.2.1 - 12.2.5.
- Krishnamurthy, L.; Serraj, R.; Hash, C.; Dakheel, A & Reddy, B. 2007. Screening *Sorghum* genotypes for salinity tolerant biomass production. *Euphytica*156:15–24.
- Krüger, L. F.; Da Rocha, R. P.; Reboita, M. S.; Ambrizzi, T. 2012. RegCM3 nested in HadAM3 scenarios A2 and B2: projected changes in extratropical cyclogenesis, temperature and precipitation over the South Atlantic Ocean. *Climatic Change.* DOI 10.1007/s10584-011-0374-4.

- Kruskal, W.H.; Wallis, W.A. 1952. Use of ranks on one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*. 47: 583-621.
- Labraga, J.C; Lopez, M. 1997. A comparison of the climate response to increased carbon dioxide simulated by general circulation models with mixed-layer and dynamic ocean representations in the region of South America. *International Journal of Climatology* 17:1635–1650
- Labraga, J.C.; Scian, B.; Frumento, O. 2002. Anomalies in the atmospheric circulation associated with the rainfall excess or deficit in the Pampa Region in Argentina. *Journal of Geophysical Research*, 107 (D23):1-15.
- Labraga, J.C. 2009. Statistical downscaling estimation of recent rainfall trends in the eastern slope of the Andes mountain range in Argentina. *Theoretical & Applied Climatology*, Online First.
- Labraga, J.; Laura D. Brandizi y Mónica A. López. 2010. Avances en el pronóstico climático de las anomalías de lluvia en la Región Pampeana. *Meteorologica* vol.36 no.2 Ciudad Autónoma de Buenos Aires
- Lachin, J. 2011. *Biostatistical Methods: The Assessment of Relative Risks*. Wiley series in probability and statistics. Second Edition. p. 656.
- Ladanyi, M. 2003. Risk methods and their applications in agriculture. *Applied Ecology and Environmental Research*. 6(3):147-164.
- Lake, S.L.; Hess, B.W.; Rule, D.C.; Scholljegerdes, E.J.; Nayigihugu, V.; Atkinson, R.L.; Murrieta, C.M. 2004. Effects of supplemental high-linoleate or high-oleate safflower seeds on adipose tissue fatty acids, apparent mobilization, and potential uptake and storage in post partum cows. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 55:29-35.
- Lake, S. L., Scholljegerdes, E.; Atkinson, R.; Nayigihugu, V.; Paisley, S.; Rule, D.; Moss, G.; Robinson, J. & B. W. Hess. 2005. Body condition score at parturition & postpartum supplemental fat effects on cow & calf performance. *J. Anim. Sci.* 83:2908–2917.
- Lalman, D.L.; Keisler, D.H.; Williams, J.E.; Scholljegerdes, E.J; Mallett, D.M. 1997. Influence of postpartum weight and body condition change on duration of anestrus by undernourished suckled beef heifers. *J. Anim. Sci.* 75:2003-2008.
- Lamb, G.C.; Miller, B.L.; Lynch, J.M.; Thompson, K.E.; Heldt, C.A. & Löest, C.A. 1999. Twice daily suckling but not milking with calf presence prolongs postpartum anovulation. *J. Anim. Sci.*, 77: 2207-2218.
- Lambers, H.; F. S. Chapin III, & T. L. Pons. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer-Verlag, New York, USA..
- Lamming, G.E.; Wathes, D.C.; Peters, A.R. 1981. Endocrine patterns in the postpartum cow. *J. Reprod. Fert.* 30:155-170.
- Laprise, R.; Caya, D.; Guigere, M.; Bergeron, G.; Cote, H.; Blanchet, J.; Boer, G. & McFarlane N. 1998. Climate and climate change in western Canada as simulated by the Canadian Regional Climate Model. *Atmos-Ocean* 36: 119-167.

- Latif, M.; Kleeman, R.; Eckert, C. 1997. Greenhouse warming, decadal variability, or El Niño: An attempt to understand the anomalous 1990's. *J. Climate*. 10:2221–2239.
- Latif, M.; Keenlyside, N. 2009. El Niño/Southern Oscillation response to global warming. *Proceedings of the national academy of science of the United States of America*. 106(49):20578-20583.
- Lazarides, M. 1997. A revision of *Eragrostis* in Australia. *Aust. Syst. Bot.* 10: 77-187.
- Lemaire G.; Da Silva, S.C.; Agnusdei, M.G.; Wade, M.H.; Hodgson, J. 2009. Defoliation frequency and leaf life span, two parameters for optimising herbage use efficiency in grazing systems. A review. *Grass & Forage Science*. 64:341–353.
- Leng, R. A. 1990. Factors affecting the utilization of 'poor-quality' forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutrition Research Reviews*. 3:277-303
- Lenters, J.; Cook KH. 1995. Simulation and diagnosis of the regional South American precipitation climatology. *J Climate*. 8: 2988-3005.
- Lents, C.A.; White, F.J.; Ciccioli, N.H.; Wettemann, R.P.; Spitzer, L.J.; Lalman, D.L. 2008. Effects of body condition score at parturition and postpartum protein supplementation on estrous behavior & size of the dominant follicle in beef cows. *J. Anim. Sci.* 86: 2549-2556
- Liang, X.; Li, L.; Kunkel, K.; Ting, M. & Wang, J. 2004. Regional climate simulations of U.S. precipitation during 1982-2002. Part I: Annual cycle. *J. Climate*. 17: 3510-3529.
- Lithourgidis, A.; Vasilakoglou, I.; Dhima, K.; Dordas, C.; Yiakoulaki, M. 2006. Forage yield & quality of common vetch mixtures with oat & triticale in two seeding ratios. *Fields Crops Res.* 99:106-113.
- Littell, R.; Henry P. R.; & Ammerman, C. 1998. *Statistical Analysis of Repeated Measures Data Using SAS Procedures*. American Society of Animal Science. 76:1216-1231.
- Lindroth, R. 1989. Mammalian herbivore-plant interactions. In: *Plant- Animal interactions*. Ed. W.G. Abrahamson. pp.163-206. McGraw Hill. New York.
- Lintzenich, B. A.; Vanzant, E. S.; Cochran, R. C.; Beaty, J. L.; Br&t R. T. Jr.; St. Jean G. 1995. Influence of processing supplemental alfalfa on intake & digestion of dormant bluestem-range forage by steers. *J. Anim. Sci.* 73:1187–1195.
- Lodhi, G.; Dangi, O. 1981. Genetics of yield & quality characters in forage *Sorghum*. *Forage Res.* 7: 57-71.
- Long, S. P. 1999. Environmental responses. In *C₄ Plant Biology*. Sage, R. F. and Monson, R. K. (Eds). San Diego Academic Press. pp. 215–249.
- López Bermúdez, F. 1995. Las sequías ¿un riesgo de desertificación para las tierras mediterráneas en el siglo XXI?. *Revista de la Universidad de Murcia*. 26: 32-454. Madrid.
- López Bermudez, 1997. Las sequías y su impacto en el riesgo de desertificación de la cuenca del Segura. *Apuntes para la gestión y sustentabilidad del agua*. *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, 17:155-168.

- López Gay, G.; Babinec, F.; Casagrande, G; Viglizzo, E. 1996. Análisis temporal y espacial del almaceaje de agua en el suelo en la pampa central durante el presente siglo. *RIA*. 27:215-225.
- Loudon, A. 1987. Nutritional effects on puberty & lactational infertility in mammals: some interspecies considerations. *Proc. Nutr. Soc.* 46, 203-216.
- Loy, D.; Maxwell, D. & G. Rouse. 1999. Effects of early weaning of beef calves on performance & carcass quality. *Iowa State Univ. Beef Res. Rep.* AS 641, Leaflet R1632, Ames. pp 22–24.
- Lusby, K., R. Wettemann, & E. Turman. 1981. Effects of early weaning calves from first-calf heifers on calf and heifer performance. *J. Anim. Sci.* 53:1193–1197.
- Lusby, K. 1994. Creep feeding beef calves. Pages 1–9 in Circular E-848. Coop. Ext. Service, Oklahoma State Univ., Stillwater.
- Llorens, E. 1995. Viewpoint: The state & transition model applied to the herbaceous layer of Argentina's calden forest. *Journal of Range Management.* 48:442-447.
- Lloyd-Hughes, B.; Saunders, M. 2002. A drought climatology for Europe. *J. Climatol.* 22: 1571-1592.
- Machado, C.F. ; Morris, S.T.; Hodgson, J.; Arroqui, M ; Mangudo, P. 2010. A web-based model for simulating whole-farm beef cattle systems. *Computers & Electronics in Agriculture.* 74:129–136
- Machenhauer, B.; M. Windelband; M. Botzet, J. Hesselbjerg, M, Deque; G. R. Jones; P. M. Rutti & G.Visconti. 1998. Validation and analysis of regional present-day climate and climate change simulations over Europe. MPI Rep.275, Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany, 87 pp.
- Macdonald, K., Penno, J., Lancaster, J. & Roche, J., 2008. Effect of stocking rate on pasture production, milk production, and reproduction of dairy cows in pasturebased systems. *Journal of Dairy Science.* 91:2151–2163.
- MacKown, C & Northup, B. 2010. Crude Protein & Nitrate Concentrations of Fall Forage for Stocker Cattle: Wheat vs. Perennial Cool-Season Grasses. *Crop Science.* 50:(5):2140-2147.
- Macqueen, J.B. 1967. Some methods for classification & analysis of multivariate observations. *Proceeding of the 50th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics & probability.* 1. 281-297.
- Mahibbur, R.M.; Govindarajulu, Z. 1997. A modification of the test of Shapiro & Wilks for normality. *Journal of Applied Statistics.* 24(2): 219-235.
- Malik, R.; Dhankar, J; Turner, N. 1979. Influence of soil water deficits on root growth of cotton seedlings. *Plant Soil.* 53:109-115.
- Maloney, T.; Oplinger, E.; Albrecht, K. 1999. Small grains for fall & spring forage. *J. Prod. Agri.* 12:4888-494.
- Mandebrot, B. & Hudson, R. 2006. *The Misbehavior of Markets: a Fractal View of Financial Turbulence.* New York, Basic Books.

- Mantua, N.J.; Hare, R.; Zhang, Y.; Wallace, J.; Francis, R. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78:1069-1079.
- Maquivar, M.G., Galina, C.S., Mendoza, G.D., Verduzco, A.R., Galindo, J.R., Molina, R.M., Estrada, S. 2006. Predicción de la ganancia diaria de peso mediante el uso del modelo NRC en novillas suplementadas en el trópico húmedo de Costa Rica. *Revista Científica* 16(6): 634-641
- Marengo, J.; Jones, R.; Alves, L. & Valverde MC. 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *Int. J. Climatol.* 29: 2241-2255.
- Marengo, J.; Ambrizzi, T.; Da Rocha R., Alves LM., Cuadra S., Valverde M., Torres R.; Santos D.; Ferraz S. 2010: Future change of climate in South América in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Clim Dyn.* 6:1073-1097.
- Marengo, J.; Chou, S.; Kay G.; Alves L.; Pesquero J.; Soares W.; Santos D.; Lyra A.; Sueiro G, Betts R, Chagas D.; Gomes J.; Bustamante J.; Tavares P. 2011. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, Sao Francisco and the Parana River basins. *Climate Dynamics*. DOI: 10.1007/s00382-011-1155-5.
- Martha, G.B.; Alves, E.; Contini, E. 2012. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. *Agricultural Systems*. 110:173-177.
- Martínez, M.F. 2010. Efectos del genotipo sobre la productividad y composición química de la biomasa forrajera y grano en Avena (*Avena Sativa* L.). Tesis de Doctor en Agronomía. Universidad Nacional del Sur.
- Mathews, K. & Short, S. 2001. The Beef Cow Replacement Decision. *Journal of Agribusiness*. 19:191-211.
- Mathis, C.P.; Cochran, R.C.; Heldt, J.; Woods, C.; Girasol. B.C.; Abdelgadir, I.E.; Olson, K.C.; Titgemeyer E.C.; Vanzant, E.S. 2000. Effects of supplemental degradable intake protein on utilization of medium- to low-quality forages. *Journal of Animal Science*. 78:224-232.
- Matin, M; Brown, J.; Ferguson, H. 1989. Leaf water potential, relative water content, & diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agron. Journal*. 81:100-105.
- Magalhaes, J.; Liu J.; Guimaraes, C.; Lana, U & Alves, V. 2007. A gene in the multidrug & toxic compound extrusion (MATE) family confers aluminum tolerance in *Sorghum*. *Nature Genetics*. 39:1156–1161.
- Magrin, G. 1997. Informe Final del sub proyecto vulnerabilidad y mitigación relacionada con el impacto del cambio global sobre la producción agrícola. Proyecto de Estudio sobre el cambio climático en Argetina. Cap. IV. ARG/95/G/31- PNUD-SECYT. Buenos Aires. p. 209.
- Majul, J.A.; Vallejos, A.G.; De Leo, G.; Echeverría, N.; Silenzi, C. 2008. Efectos de la fertilización nitrogenada y fosforada sobre la producción de forraje en verdeos invernales del suroeste bonaerense. *Actas VII Congreso Nacional*

- de Trigo, V Simposio Nacional de Cereales de siembra Otoño-Invernal y I Encuentro del MERCOSUR. pp 108-113.
- Maman, N.; Lyon, D.; Mason, S.; Galusha, T. & Higgins, R. 2003. Pearl millet & *Sorghum* yield response to water supply in Nebraska. *Agronomy Journal*. 95:1618–1624.
- Marquardt, D. 1963. An Algorithm for Least-Squares estimation of nonlinear parameters. *SIAM Journal on Applied Mathematics*. 11(2): 431–441
- Marques, P.R.; Barcellos, J.; C. McManus; R., Oaigen; F., Collares; M., Canozzi & V., Lampert. 2011. Competitiveness of beef farming in Rio Grande do Sul State, Brazil. *Agricultural Systems*. 104(9):689-693.
- Marti, O.; Braconnot, P.; Bellier, J Benschila R.; Bony S.; Brockmann P.; Cadule P.; Caubel, A.; Denvil S.; Dufresne J.; Fairhead L.; Filiberti M.; Foujols M.; Fichet, T.; Friedlingstein P.; Gosse H.; Grandpeix J.; Hourdin F.; Krinner, G.; Lévy, C.; Madec G.; Musat I.; De Noblet N.; Polcher J.; Talandier C. 2005. The new IPSL climate system model: IPSLCM4. Tech. rep., Institut Pierre Simon Laplace des Sciences de l'Environnement Global, IPSL, Case 101, 4 place Jussieu. Paris. France.
- McCown, R.L. 1981. The climatic potential for beef cattle production in tropical Australia: Part I—Simulating the annual cycle of liveweight change *Agricultural Systems*. 6(4):303-317.
- McCown, R.; P. Gillard; L., Winks & W.T. Williams. 1981. The climatic potential for beef cattle production in tropical Australia: Part II— liveweight change in relation to agroclimatic variables. *Agricultural Systems*. 7(1):1-10.
- Mccree, K.1986. Whole-plant carbon balance during osmotic adjustment to drought & salinity stress. *Aust. J. Plant. Physiol*. 13: 33-43.
- McFarland, J.; Mitchell, R. 2000. Fire effects on weeping lovegrass tiller density & demographics. *Agronomy Journal* 92(1): 42–47.
- McNaughton, S. 1983. Compensatory plant growth as a respose to herbivory. *Oikos*. 40:329-336.
- Meinen, C. & M.J. McPhaden. 2000. Observations of Warm Water Volume changes in the Equatorial Pacific & their relationship to El Niño & La Niña. *J. Clim*. 13:3551-3559.
- Menéndez, C; Cabré, M; Solman, S.; Nuñez, M.; 2003. Regional climate simulations over South America using MM5. In 7th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology & Oceanography. Am. Met. Soc. Wellington, New Zeal&. pp 59-61.
- Menéndez, C. G.; M. de Castro; J. P. Boulanger; A. D' Onofrio, E. Sanchez, A. A. Sörenson; J. Blázquez; A. Elizalde, U. Hansson; H. Le Treut, Z. X. Li, M. N. Nuñez; N. Pessacg; S. Pfeiffer; M. Rojas; S. A. Solman & C. Teichmann. 2009. Downscaling extreme month-long anomalies in southern South America. *Clim. Change*. DOI: 10.1007/s10584-009-9739-3.
- Menéndez, C.G.; M. De Castro; J. Boulanger; A. D'Onofrio; E. Sanchez ; A. Sörensson; J. Blazquez; A. Elizalde; D. Jacob; H. Le Treut; Z.X. Li, M. Núñez; S. Pfeiffer; N. Pessacg; A. Rolla; M. Rojas; P. Samuelsson; S.A.

- Solman; C. Teichmann. 2010. Downscaling extreme month-long anomalies in southern South America. *Climatic Change*. 98:379-403.
- Merewitz, E; Meyer, W.; Bonos, S & B. Huang. 2010. Drought Stress responses & recovery of texas × kentucky hybrids & kentucky bluegrass genotypes in temperate climate conditions. *Agronomy Journal*. 102(1):258-268.
- Merrill, S.D.; A.L. Black; D.W. Fryrear; A. Saleh; T.M. Zobeck; A.D. Halvorson, & D.L. Tanaka. 1999. Soil wind erosion hazard of spring wheat-fallow as affected by long-term climate and tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 1768-1777.
- McCullum III, F.; Gillen, R. L.; Karges, B. R. & M. E. Hodges. 1999. Stocker cattle response to grazing management in tall-grass prairie. *J. Range Manage.* 52:120–126.
- McDaniels, T.; Axelrod, L.; N. Cavanagh & P. Slovic. 1997. Perception of ecological risk to water environments. *Risk Analysis J.* 17(3):341–352.
- Mckee, T.; Doesken, N.; Kleist, J. 1993. The relation of drought frequency & duration to time scale. 8th Conference on Applied Climatology. 179-184.
- McLean, J., A. Raftery, T. Gneiting, & C. Fraley, 2007: Probabilistic quantitative precipitation forecasting using Bayesian model averaging. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 3209– 3220.
- McPhaden, M.; Delcroix, T.; Hanawa, K.; Kuroda, Y.; Meyers, G.; Picaut, J.; Swenson, M. 1998. The tropical ocean global atmosphere observing system: a decade of progress. *Journal of Geophysical Research*. 103:14169–14240.
- Meehl, G.; J. M. Arblaster & C. Tebaldi. 2005. Understanding future patterns of increased precipitation intensity in climate model simulations, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L18719, doi:10.1029/2005GL023680.
- Meehl, G.; Covey, C.; Delworth, T. , Latif, Mojib, McAvaney, B. , Mitchell, J.; Stouffer, R. & Taylor, K. 2007. The WCRP CMIP3 multi-model dataset: a new era in climate change research *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88 ;1383-1394.
- Meyer, D; Kerley, K.; Walker, E.; Keisler, D; Pierce, V.; Schmidt, T.; Stahl, A.; Linville, M. & E. P. Berg. 2005. Growth rate, body composition, and meat tenderness in early vs. traditionally weaned beef calves. *J. Anim. Sci.* 83(12):2752-2761.
- Miller, F. P. & Wali, M. K. 1995. Soils, land use and sustainable agriculture: A review. *Can. J. Soil Sci.* 75: 413-422.
- Miller Grinstead, C.; Snell, J. 1997. Introduction to probability. *American Mathematical Soc.* 510 p.
- Min, W. & Shubert, S. 1997. The climate signal in regional moisture fluxes: A comparison of three global data assimilation products. *J. Clim.* 10:2623-2642.
- Minetti, J.; Sierra, E. 1989. The influence of the general circulation patterns of humid & dry years in the Cuyo Andean Region of Argentina. *J. Climatol.* 9:55-68
- Minetti, J; Vargas, W. Poblete, A. 1995. Régimen de variabilidad de la precipitación anual en dos transectas de Argentina. *Geofísica*: 42:103-117.

- Minetti, J.L. & W.M. Vargas. 1999. Trends & jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15°S. *Atmósfera* 11,(4):205-222.
- Misra, V.; Dirmeyer P.; Kirtman, B; H. Juang; M. Kanamitsu. 2002. Regional simulation of interannual variability over South America. *Journal of Geophysical Research*, vol 107, NO. D20, 8036, DOI 10.1029/2001JD900216. .
- Misra, V.; Dirmeyer P.; Kirtman B. 2003. Dynamic downscaling of seasonal simulations over South America. *J. Climate*. 16: 103-117.
- Mitchell, J.; Johns, T.; Eagles, M.; Ingram, W.; Davis, R. 1999. Towards the construction of climate change scenarios. *Clim. Change*. 41:547–581.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants & stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7:405–410.
- Mo, K. C. 2000. Relationships between low-frequency variability in the southern hemisphere & sea surface temperature anomalies. *J. of Climate*, 13(16):3599-3610.
- Monjardinoa, M.; Revell, D.; Pannell, D. 2010. The potential contribution of forage shrubs to economic returns and environmental management in Australian dryland agricultural systems. *Agricultural Systems*. 103(4):187–197.
- Money, H.; Gulmon,S.1982. Constraints on leaf structure & function in referente to herbivory. *Bioscience*. 32:198-206.
- Montgomery, G.W.; Scott, I.C.; Hudson, N. 1985. An interaction between season of calving and nutrition on the resumption of ovarian cycles in post-partum beef cattle. *J. Reprod. Fert.* 73, 45-50.
- Monje, A. R; Galli, I. O. y Hoffer, C.C. 1976. destete a los 40 días en un rodeo de cría. *Revista Argentina de Producción Animal*. 5: 147-153.
- Montiel, F.; Ahuja, C. 2005. Body condition and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: a review. *Anim. Reprod. Sci.* 85:1-26.
- Montossi, F.; Pigurina, G.; Santamarina, I.; Berretta, E.J. 2000. Selectividad animal y valor nutritivo de la dieta de ovinos y vacunos en sistemas ganaderos: teoría y práctica. *INIA Tacuarembó* 84 p. (Serie Técnica 113).
- Moolman, A.C.; Van Rooyen, N. & M.W. Van Rooyen, 1996. The effect of drought stress on the dry matter production, growth rate & biomass allocation of *Anthehora pubescens* Nees. *S. Afr. J. Bot.* 62: 41-45.
- Moore, J; Brant, M; Kunkle, W; Hopkins, D. 1999. Effects of supplementation on voluntary forage intake, diet digestibility, & animal performance, *J. Anim. Sci.* 77(2):122-135.
- Moore, G.; Albertsen, T.; Van Gol, D. & Titterington, J. 2006. Poor persistence of sub-tropical grasses over winter. "Groundbreaking Stuff". (Eds) Turner,N. & Acuna, T. *Proceedings of the 13th Australian Agronomy Conference*. 10-14. Australia.
- Moreira, N. 1989. The effects of seed rate & nitrogen fertilizer on the yield & nutritive value of oat –vetch mixtures. *J. Agric. Sci. Camb.* 112:57-66.

- Moretto, A.; Distel R. 1997. Competitive interactions between palatable & unpalatable grasses native to a temperate semi-arid grassland in Argentina. *Plant Ecology*. 130:155-161.
- Moretto, A.; Distel R. 2003. Decomposition of & nutrient dynamics in leaf litter & roots of *Poa ligularis* & *Stipa gynerioides*. *Journal of Arid Environment*. 55: 503-514.
- Moretto, A. 2009. Productividad, descomposición y mineralización de dos gramíneas de diferente palatabilidad nativas del Caldenal. Tesis de Doctor en Agronomía. Universidad Nacional del Sur.
- Morgan, M. S.; Beck, P. A.; Hess, T. ; Hubbell III, D. S. & M. S. Gadberry . 2012. Effects of establishment method and fall stocking rate of wheat pasture on forage mass, forage chemical composition, and performance of growing steers. *J. Anim. Sci.* 90:3286-3293.
- Moriondo, M.; P. Good; R. Durao; M. Bindi; C. Giannakopoulos & J. Corte-Real. 2006. Potential impact of climate change on fire risk in the Mediterranean area. *Climate research* 31:85-95.
- Mormeneo, I y Castellví, F. 2001. Aplicación de un Modelo en la generación de Precipitaciones diarias. *Revista Brasileira de Agrometeorología*, Santa María, 9: (2): 311-315.
- Moss, S.; Edmonds, B. & Wallis, S. 1997. Validation & verification of computational models with multiple cognitive agents. Centre for Policy Modelling Report. No. 97-25.
- Moss, S. 2008. Alternative approaches to the empirical validation of Agent-Based Models. *Journal of Artificial Societies & Social Simulation*. 11(1):5.
- Moskowitz, P.; Medeiros, W.; N. Oden; H. Thode; E. Coveney & R. Rosenthal. 1987. An analysis of damage to U.S. soybean yields from 1982 acid deposition levels. *Risk Analysis J.* 7(3): 371–388.
- Moura, A. & J. Shukla. 1981. On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. *Journal of the Atm. Sci.* 38:2653-2675.
- Murphy, J.M. ; Sexton, D. Barnett, D. ; Jones, G.; Webb, M. Collins, M. Stainforth, D. 2004. Quantifying uncertainties in climate change from a large ensemble of general circulation model predictions. *Nature*. 430, 768–772.
- Myers, S.; Faulkner, D.; Irel, F.; Berger, L. & Parrett, D. 1999a. Production systems comparing early weaning to normal weaning with or without creep feeding for beef steers. *J. Anim. Sci.* 77:300–310.
- Myers, S.; Faulkner, D.; Irel, F.; Berger, L. & Parrett, D. 1999b. Comparison of three weaning ages on cow-calf performance & steer carcass traits. *J. Anim. Sci.* 77:323–329.
- Myers, S.; Faulkner, D.; Irel, F.; Nash, T; Berger, L. ; Parrett, D. & F. K. McKeith. 1999c. Performance and carcass traits of early-weaned steers receiving either a pasture growing period or a finishing diet at weaning. *J. Anim. Sci.* 77:311–322.

- Nada Y. 1980. Photoperiodic responses in flowering of main tropical pasture grasses. *J. Japan. Grassl. Sci.* 26:157-164.
- Nagel, J.; Griffin, K. 2001. Construction cost & invasive potential: Comparing *Lythrum salicaria* (Lythraceae) with co-occurring native species along ponds banks. *American Journal of Botany.* 88: 2252-2258.
- Neelin, J.D.; Latif, M.; Jin, F. 1994. Dynamics of coupled ocean atmosphere models. The tropical problem. *Annu Rev Fluid Mech.* 26:617–659.
- Neelin, J. D.; Battisti D. S.; Hirst, A. C.; Jin, F. F.; Wakata, Y.; Yamagata, T. & S. Zebiak, 1997. ENSO theory. *J Geophys Res.* 103:14261–14290.
- Neville, W. E., & W. C. McCormick. 1981. Performance of early- and normal-weaned beef calves and their dams. *J. Anim. Sci.* 52:715–724.
- New, M.; Hulme M.; Jones P. 1999. Representing twentieth-century space time climate variability. Part I. Development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate.* 12: 829-856.
- New, M.; Hulme M.; Jones P. 2000. Representing twentieth-century space time climate variability. Part II. Development of a 1901-1996 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate.* 13: 2217-2238.
- Nicolini; M. & A.C. Saulo. 2006. Modeled Chaco low-level jets & related precipitation patterns during the 1997–1998 warm season. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 000, 1–15, DOI 10.1007/s00703-006-0186-7.
- Nogués-Paegle, J.; C.R. Mechoso; R. Fu; E.H. Berbery, W.C. Chao, K. Cook, A. Diaz; D. Enfield; R.N. Ferreira; A.M. Grimm; V.E. Kousky, B. Liebmann; J.A. Marengo; K.C. Mo, J.D. Neelin; J. Paegle, A. Robertson, A. Seth, C. Vera, J. Zhou, 2. 2002. Progress in Pan American CLIVAR research: Understanding the South American Monsoon. *Meteorológca* 27:3-30.
- Noctor, G.; Veljovic-Jovanovic, S.; Driscoll, S.; Novitskaya, L.; Foyer, C. 2002. Drought & oxidative load in the leaves of C₃ plants: a predominant role for photorespiration? *Annals of Botany.* 89:841–850.
- Norby, R.; DeLucia, E.; Gielen, B.; Calfapietra, C.; Giardina, C.; King, J.; Ledford, J.; McCarthy, H.; Moore, D.; Ceulemans, R. 2005. Forest response to elevated CO is conserved across a broad range of productivity *Proc. Natl Acad. Sci. USA.* 102:18052–6.
- NRC, 1987. Predicting feed intake of food producing animals. National Research Council. Washington D.C. USA
- NRC, 1996. Nutrients Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition: Subcommittee on Beef Cattle Nutrition. Committee on Animal Nutrition, National Research Council. Washington D.C. USA
- NRC, 2000. Nutrient requirements of beef cattle. Seventh revised edition. National Academy Press. Washington DC.
- NRC, 2001. Nutrients Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition. National Academy Press. Washington D.C. USA.
- Núñez, S.; Liliana N.; Núñez, G; Podestá, P.; Skansi, M.M. 2005. El Índice Estandarizado de Precipitación como herramienta para la caracterización y

- el monitoreo de la sequía: una prueba de concepto. Congremet IX, 9th. Argentine Congress of Meteorology. Buenos Aires, Argentina.
- Nuñez, M. N.; Solman, S. A. ; Cabré, M. F. 2008. Regional climate change experiments over Southern South America. II: Climate change scenarios in the late twenty first century. *Clim Dyn.* 32:1081-1095
- Nuñez, M. N.; S. Solman & M. F. Cabré. 2009. Regional Climate change experiments over Southern South America. II: Climate change scenarios in the late twenty first century. *Climate Dynamics.* 32(7-8): 901-1186.
- Obschatsko, E & Del Bello, J. 1986. Tendencias productivas y estrategias tecnológicas para la agricultura pampeana. CISEA N°20. Buenos Aires. Argentina.
- Oishi, K.; Kato, Y.; Ogino, A.; & H., Hirooka. 2013. Economic and environmental impacts of changes in culling parity of cows and diet composition in Japanese beefcow–calf production systems. *Agricultural Systems.* 115:95-103.
- Okuma, E.; Soeda, K.; Tada, M.; Murata, Y. 2000. Exogenous proline mitigates the inhibition of growth of *Nicotiana tabacum* cultured cells under saline conditions. *Soil Science & Plant Nutrition* 46: 257–263.
- Olaizola, A. & Gibon, A. 1997. Bases teóricas y metodológicas para el estudio de las explotaciones ganaderas y sus relaciones con el espacio. La orientación de la escuela francesa de sistemistas. *ITEA 93 (1):* 17-39.
- Olcina Cantos, J. 2009. Hacia una ordenación sostenible de los territorios de riesgo en Europa en cohesión e inteligencia territorial. En: *Dinámicas y procesos para una mejor planificación y toma de decisiones.* (Eds) Farinós, J. Romero, J. y Salom. J. Universitat de Valencia. Valencia. pp. 153-182.
- Olcina Cantos, J. 2010. El tratamiento de los riesgos naturales en la planificación territorial de escala regional. *Papeles de Geografía. Revista de la Universidad de Alicante.* 51(52):223-234
- Oldeman, L.R. 1994. The global extent of soil degradation. Pp 99-104. In: Greenladn, D.J.& I. Szalbolcs. *Soil resilience & sustanaible l& use.* CAB International. UK. 561 pp.
- Oltjen, J.W.; Bywater, A.C.; Baldwin, R.L. & Garrett, W.N. 1986. Development of a dynamic model of beef cattle growth and composition. *Journal of Animal Science* 62: 86-97.
- Ortega, J. F.; De Juan, J. A.; Tarjuelo, J. M.; Merino, R. & M. Valiente. 1999. Modelo de optimización económica del manejo del agua de riego en las explotaciones agrícolas: aplicación de la agricultura de regadío de la provincia de Toledo. *Invest. Agricultura y Producción Vegetal.* 14: 325-354.
- Osborne, C.P. 2008. Atmosphere, ecology & evolution: what drove the Miocene expansion of C₄ grasslands? *Journal of Ecology* 96: 35-45.
- Osoro, M.; Cebrian, M. 1989. Digestibility of energy &r grass energy intake in fresh pastures. *Grass F. Sci.* 44-41-46.
- PaiMazumder, D.; L. Sushama; R. Laprise; M. Naveed Khaliq; D. Sauchyn. 2013. Canadian RCM projected changes to short- and long-term drought

- characteristics over the Canadian Prairies. *International Journal of Climatology*. 33(6):1409-1423.
- Pan, Z.; J. Christensen; R. W. Arritt, W. J. Gutowski Jr., E. S. Takle & F. Otiemo. 2001. Evaluation of uncertainties in regional climate change simulations. *J. Geophys. Res.* 106:17735-17751.
- Panebianco, J. & Buschiazzo, D. 2008. Erosion prediction with the wind erosion equation (WEQ) using different climatic factors. *Land Degrad. and Develop.* 19:36-44.
- Pang, H.; Makarechian, M.; Basarab, J.; Berg, R.T. 1999. Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 409-417.
- Pannell, D. J. 1995. Economic aspects of legume management & legume research in dryland farming systems of southern Australia. *Agricultural Systems*. 49:217-236.
- Parker, D.E., C.K. Folland & M. Jackson. 2005. Marine Surface Temperature: Observed variations and data requirements. *Climatic Change*. 31:559-600.
- Parmesan, C. 2006. Ecological & evolutionary responses to recent climate change. *Ann. Rev. Ecol., Evolution, & Systematics* 37:637-669.
- Parmesano, C. 2006. Las respuestas ecológicas y evolutivas al cambio climático reciente . *Ann. Rev. Ecol, Evolución y Sistemática*. 37:637 - 669 .
- Parr, J.F.; Stewart, B.A.; Hornick S.B.&Singh, R.P. 1990. Improving the Sustainability of Dryland Farming Systems: A Global perspectiva. In: Singh, R. P.; Parr, J.F.& Stewart B.A. (Eds). *Dryland agriculture: Strategies for sustainability*. *Adv. Soil Science* 13:150-175.
- Parr S. L. ;Chung K.; Galyean M.; Hutcheson J.; DiLorenzo N.; Hales K.; May M.; Quinn M. J.; Smith D. R.; Johnson, J. 2010 . Rendimiento de terminar novillos de carne en respuesta a implantos anabólicos y suplementos de clorhidrato zilpaterol . *J. Anim. Ciencia*. 89 :560 - 570 .
- Parsons, D.; Nicholson, C.; Blake, R.; Q., Ketterings; L., Ramírez-Aviles; D., Fox; L., Tedeschi & Jerome, H. 2011. Development and evaluation of an integrated simulation model for assessing smallholder crop-livestock production in Yucatán, Mexico. *Agricultural Systems*. 104(1):1-12.
- Paruelo, J.M.; Lauenroth, W.; Burke, I.; Sala O. 1999. Grassland precipitation use efficiency across a resource gradient. *Ecosystems* 2: 64-69.
- Pascale, J.; Torre de Farsi, L. 1987. Regimen hídrico estival en la región semiárida sodoccidental pampeana durante la década del 70. p 155-163. *Anales III Congreso Argentino de Agrometeorología*.
- Patz, J.; Campbell-Lendrum, D.; T. Holloway & J. Foley. 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438, 310-317.
- Pavan, E.; Santini, F.J. & Van Olphen, P. 1998. Suplementación de vaquillonas en pastoreo de avena con silaje de maíz y dos fuentes nitrogenadas. 22° Congreso Rev. Arg. Prod. Anim. 18(1):152-153.
- Peck, E. L. and Brown, M. J. 1962. An approach to the development of isohyetal maps for mountainous areas. *Geophys. Research. J.* 67:681-694.

- Peck, S.L. 2004. Simulation as experiment: a philosophical reassessment for biological modeling. *Trends Ecol. Evol.* 19: 530–534.
- Pedrol, N.; Ramos, P.; Reigosa, MJ. 2000. Phenotypic plasticity & acclimation to water deficits in velvet-grass: a long-term greenhouse experiment. Changes in leaf morphology, photosynthesis & stress-induced metabolites. *Journal of Plant Physiology* 157: 383–393.
- Pelletier, N.; Pirog, R & R. Rasmussen. 2010. Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems.* 103(6):380-389.
- Peña Sánchez de Rivera, D. 2001. Dedución de distribuciones: el método de Montecarlo. En *Fundamentos de Estadística*. Ed. Alianza Editorial. Madrid.
- Pérez, S.; Sierra, E.; Casagrande, G.; Vergara, G. 1999. Incremento de las precipitaciones (1921/1998) en el centro este de la provincia de La Pampa (Argentina). *Rev. Fac. Agro. (UBA)*. 19:193-196
- Perillat, B.J.; Brown, W.; Cohen, R. 2004. A risk efficiency analysis of backgrounding and finishing steers on pasture in Saskatchewan, Canada. *Agricultural Systems.* 80(3):213-233
- Perry, R.C.; Corah, L.R.; Cochran, R.C.; Beal, W.E.; Stevenson, J.S.; Minton, J.E.; Simms, D.D.; Brethour, J.R. 1991. Influence of dietary energy on follicular development, serum gonadotrophins, and first postpartum ovulation in suckled beef cows. *J. Anim. Sci.* 69, 3762-3773.
- Peterson, G. A., T. B. Turner, K. M. Irvin, M. E. Davis, H. W. Newland, & W. R. Harvey. 1987. Cow and calf performance and economic considerations of early weaning of fall-born beef calves. *J. Anim. Sci.* 64:15–22.
- Philander, S. 1990. *El Niño, La Niña, & the Southern Oscillation*. Ed. Academic, London.
- Phillips, R.; Beeri, O.; Scholljegerdes, E.; Bjergaard, D.; Hendrickson, J. 2009. Integration of geospatial & cattle nutrition information to estimate paddock grazing capacity in Northern US prairie. *Agricultural Systems.* 100: 72–79.
- Piao, S.; P. Ciais; P. Friedlingstein; P. Peylin; M. Reichstein. 2008 Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming *Nature.* 451:49–52.
- Pindyck, R.S.; Rubinfeld, D.L. 1999. *Econometría: Modelos y pronósticos*. McGraw-Hill. 4th Ed.
- Pisani, J.M.; Distel, R.; Boti E. 2000. Diet selection by goats on a semi-arid shrubland in central Argentina. *Ecología Austral.* 10:103-108.
- Pisciottano, G., A. Díaz, and G. Gazes, 1994. El Niño–Southern Oscillation impact of rainfall in Uruguay. *J. Climate.* 7:1268–1302.
- Pittroff, W.; Cartwright, T.C. 2002. Modeling livestock systems. I. A descriptive formalism. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 10(3): 193-205
- Pizarro, J. & Casacardo, A. 1991. La evolución de la agricultura pampeana. p. 149-260. En. O. Barsky (Ed). *El desarrollo agropecuario pampeano*. Grupo Editor Latinoamericano. Bs. As. Argentina.

- Pla, L. 2004. Bootstrap confidence interval for Shannon biodiversity index: a simulation study. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*.
- Plan de Desarrollo del Sudoeste Bonaerense. 2004. Ley Provincial 13.647. Provincia de Buenos Aires.
- Plumier, D.; Caya, A.; Frigon, H.; Côté, M.; Giguère, D.; Paquin, S.; Biner, S.; Harvey, R. & R. de Elia. 2006. Climate and Climate Change over North America as Simulated by the Canadian RCM. *J. Climate*. 19:3112–3132.
- Polci, P. 2000. Cultivo de tejidos para la obtención de variants somoclonales de pasto llorón, *Eragrostis curvula* (Schrad). Ees s. lat. Tesis Doctorado en Agronomía. Universidad Nacional del Sur.
- Pomar, C; Harris, L. D. ; Savoie, P. ; F. Minvielle. 1991. Computer simulation model of swine production systems:III. A dynamic herd simulation model including reproduction. *Journal Animal Science*. 69: 2822-2836
- Ponssa, E.; Machado, C.; Berger, H.; Copes, M. & Auza, N. 2003. Evaluación de los efectos productivos y económicos de algunas variables reproductivas mediante un modelo de simulación determinístico. *Rev. Arg. de Prod. Ani*. 23(1):12-14.
- Ponssa, E.; Rodríguez, G. & Sanchez Abrego, D. 2007. Relaciones entre la tasa de preñez y la dinámica del rodeo en un sistema de cria bovina. evaluación física y económica. *Anales de la XXXVIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria*. 2:1-17.
- Poppi, D.P. 1996. Predictions of food intake in ruminants from analyses of food composition. *Austr. J. Agric. Res*. 47:489-504
- Porter, H ; Bergkotte, M. 1992. Chemical composition of 24 wild species differing in relative growth rate. *Plant & Cell Environment* 15:221-229.
- Poverene, M.; Voight, P. 1997. Isozyme variation & germoplasm relationship in the *Eragrostis curvula* complex. *Biochem. System. Ecol*. 25, 21-32.
- Prasad, P; Staggenborg, S. & Z. Ristic. 2008. Impact of drought and heat stress on physiological, growth and yield processes. In: *Modeling Water Stress Effects on Plant Growth Processes*, Vol. 1 of the *Advances in Agricultural Systems Modeling: Transdisciplinary Research, Synthesis and Application Series* (Eds. L.H. Ahuja and S.A. Saseendran). ASA-CSSA, Madison, Wisconsin, USA. p301-355
- Price, E. ; Harris, J.; Borgwardt, R. ; Sween, M. ; Connor, J. 2003. Fence line contact of beef calves with their dams at weaning reduces the negative effects of separation on behavior & growth rate. *J. Anim. Sci*. 81:116–121.
- Pugnaire, F.I., L. Serrano Endolz & J. Pardos. 1994. Constraints by stress on Plant Growth. In: Pessaraki, M. (ed), pp. 247-259. University of Arizona, Tucson, Arizona, USA.
- Puigdefabregas, J. 1995. Desertification: stress beyond resilience. Exploring a unifying process structure. *Ambio*. 24(5):311-313.

- Purves, D.; Lichstein, J.; Strigul, N.; Pacala, S. 2008. Predicting and understanding forest dynamics using a simple tractable model. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 105:17018-17022.
- Quarrie, S.; Jones, H. 1979. Genotypic variation in leaf water potential, stomatal conductance, & abscisic acid concentration in spring wheat subjected to artificial drought stress. *Ann. Bot.* 44: 323-332.
- Quinn, J.A. & D.F. Hervey. 1970. Trampling losses and travel by cattle on Sandhills range. *Journal of Range Management.* 23:50-55.
- Quiroga, A.; Ormeño, O.; Baudracco, S. 2001. Fertilización de verdeos de invierno en la región subhúmeda y semiárida pampeana. En; Tecnología de fertilización nitrogenada para cereales de invierno. Región subhúmeda y semiárida pampeana. Comité de fertilidad de suelos y nutrición vegetal. Ed. Asociación Argentina de las Ciencias del Suelo.
- Rabotnicof, C.M.; Stritzler, N.P; Hernández, O.A. 1986. Evaluación De especies forrajeras estivales en la región semiárida pampeana. II. Determinación de producción de materia seca, persistencia, proteína y digestibilidad in vitro de *Bothriochloa intermedia*, *Eragrostis curvula*, *Digitaria eriantha*, *Panicum antidotale* y *Setaria leiantha* bajo condiciones de diferimiento. *Rev. Arg. de Prod. Ani.* 6:57–66.
- Raftery, A.; Gneiting, T; Balabdaoui, F. & M. Polakowski, 2005: Using Bayesian model averaging to calibrate forecast ensembles. *Mon. Wea. Rev.* 133:1155–1174.
- Räisänen, J. 2002. CO₂-Induced Changes in Interannual Temperature and Precipitation Variability in 19 CMIP2 Experiments. *J. Climate*, 15:2395–2411.
- Räisänen, J., U. Hansson; A. Ullerstig; R. Döscher; L. P. Graham; C. Jones, H. E. M. Meier; P. Samuelsson & U. Willén. 2004. European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Clim. Dyn.* 22: 13-31.
- Räisänen, J. 2007. How reliable are climate models? *Tellus.* 59A:2–29.
- Ramsey, R.; Damona, D.; Clement, W.; McGrann, J. 2005. Factors affecting beef cow-herd costs, production & profits. *Journal of Agricultural & Applied Economics.* 37(1):91–99.
- Rayner, N.A.; Parker, D.E.; Horton, E.; Foll, C.; Alex, L.; Rowel, D.; Kent, E.; Kaplan, A. 2003. Global analyses of SST, sea ice, & night marine air temperature since the late nineteenth century. *J. Geophys. Res.* 108:4407.
- Rearte, D. 2010. Situación actual y prospectiva de la producción de carne vacuna en Argentina. Programa Nacional de Carnes. INTA.
- Reboita, M.; Da Rocha R.; Ambrizzi T.; Caetano E. 2010 An assessment of the latent and sensible heat flux on the simulated regional climate over Southwestern South Atlantic Ocean. *Clim. Dyn.* 34: 873-889.
- Reddy, B.; Ramesh, S.; Ashok Kumar, A.; Wani, S.; Ortiz, R.; Ceballos, H. & Sreedevi, T. 2008. Bio-fuel crops research for energy security & rural development in developing countries. *Bioenergy Research.* 1:248–258

- Reddy, B.; Ramesh, S.; Sanjana Reddy, P. 2009. Genetic enhancement for drought tolerance in *Sorghum*. *Plant Breeding Reviews*. 31:189–222.
- Reddy, B.; Ashok Kumar, A.; Ramesh, S. & Sanjana Reddy P. 2011. Breeding *Sorghum* for coping with climate change. pp 326–339. In *Crop adaptation to climate change* (Yadav SS, Redden B, Hatfield JL & Herman Lotze-Campen, eds.). Iowa, USA. John Wiley & Sons Inc.
- Rees, J.; &ersen, D. & Irmak, S. 2006. Comparison of water use & crop water use efficiency of maize, *Sorghum*, & soybean in Nebraska. *Agricultural Water Management* 83(1–2):135–143.
- Renquist, B.; Oltjen, J.; Sainz, R.; Calvert, C. C. 2006. Relationship between body condition score & production of multiparous beef cows. *Livest. Sci.* 104:147–155.
- Repetto, J; Cajarville, C; D'Alessandro, J; Curbelo, A; Soto, C; Garín, D. 2005. Effect of wilting & ensiling on ruminal degradability of temperate grass & legume mixtures. *J. Anim. Res.* 54:73–80
- Rethman, N.F. 1987. The effect of form & level of nitrogen fertilization on the yield of *Digitaria eriantha* Steud. *Journal of the Grassland Society of South Africa*. 4: 105–108.
- Rethman, N.F; Venter, P.S. & Lindeque, J.P. 1997. Influence of soil water availability on the above & below ground phytomass of five subtropical grass species. *Applied Plant Science*. 11:29–34.
- Ribotta, A.N.; Griffa S.; López Colomba E.; Grunberg K. & Biderbost E. 2005. Determinación del contenido proteínico en materiales seleccionados de *Cenchrus ciliaris* L., *Chloris gayana* K. y *Panicum coloratum* L. *Pastos y Forrajes* 28: 241-246.
- Riccardi, F.; Gazeau, P.; de Vienne, D.; Zivy, M. 1998. Protein changes in response to progressive water deficit in maize: quantitative variations & identification. *Plant Physiology*. 117:1263–1253.
- Richards, M.W.; Spitzer, J.C.; Warner, M.B. 1986. Effect of varying levels of postpartum nutrition & body condition at calving on subsequent reproductive performance in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 62: 300-306.
- Richards, M.W.; Wettemann, R.P.; Schoenemann, H.M. 1989. Nutritional anestrus in beef cows: body weight change, body condition, luteinizing hormone in serum & ovarian activity. *J. Anim. Sci.* 67:1520-1526.
- Richards, J.H. 1993. *Physiology of plant recovering from defoliation*. Grassland for our World. SIR Publishing, New Zealand.
- Riewe, M. E. 1961. Use of the relationship of stocking rate to gain of cattle in an experimental design for grazing trials. *Agron. Journal*. 53:309–313.
- Riewe, M. E.; Smith, J. C.; Jones, J. H. & E. C. Holt. 1962. Grazing production curves. I. Comparison of steer gains on gulf ryegrass and tall fescue. *Agron. Journal*. 55:367–396.
- Riley, D. G.; Coleman, S.; Chase, C.; Olson, T.; Hammonds, A. 2007. Genetic parameters for body weight, hip height, & the ratio of weight to hip height

- from random regression analyses of Brahman feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 85:42-52.
- Rodríguez, J. A. & G. López. 2000. Planificación de recursos para la modernización de los sistemas arroceros mediante el empleo de modelos de simulación y SIG. *Agr. Prot. Veg.* 15:181-194.
- Root, T. L.; Price, J. T.; Hall, K. R.; Schneider, S. H.; Rosenzweig, C.; Pounds, J. A. 2002. Fingerprints of global warming on wild animals & plants. *Nature* 421:57–60.
- Robert, C.P. & Casella, G. 2004. Monte Carlo statistical methods. Springer-Verlag, London. UK.
- Roberto, Z., G. Casagrande & E. Viglizzo. 1994. Lluvias en la Pampa Central. Tendencias y variaciones. Publicación N°12. Centro Regional La Pampa-San Luis, INTA. Buenos Aires, 25 pp.
- Robertson, A. W. & C. R. Mechoso. 2003. Circulation regimes and low-frequency oscillations in the South Pacific Sector. *Mon. Wea. Rev.* 131: 1566-1576.
- Rojas, M.; Seth A. 2003. Simulations and sensitivity in a nested modeling system for South America. Part II. GCM boundary forcing. *J. Climate.* 16: 2454-2471.
- Rojas, M. 2006. Multiply nested regional climate simulation for Southern South America: sensitivity to model resolution. *Mon. Wea. Rev.* 134:2208-2223.
- Romera, A. J.; Morris, S. T.; Hodgson, J.; Stirling W. & Woodward S. 2004. A model for simulating rule-based management of cow-calf systems. *Computers & Electronics in Agriculture.* 42: 67-86.
- Romera, A. J.; Morris, S. T.; Hodgson, J.; Stirling W. & Woodward S. 2005. Comparison of haymaking strategies for cow-calf systems in the Salado Region of Argentina using a simulation model. 1. Effect of herbage mass at cutting and cow stocking rate under a rigid system of management. *Grass & Forage Science.* 60:399-408.
- Romera, A. J.; Morris, S. T.; Hodgson, J.; Stirling W. & Woodward S. 2006. The influence of replacement policies on stability of production in a simulated cow - calf farm system. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* 49:1, 35-44
- Romera A.J.; McCall D.G.; Lee J.; Agnusdei M.G.. 2009. Incorporating a new senescence function into the McCall herbage growth model. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* 52: 477–494.
- Rooney, W. 2004. *Sorghum* improvement – Integrating traditional & new technology to produce improved genotypes. *Advances in Agronomy.* 83:38–110.
- Root, T. L.; Price J. T.; Hall K. R., Schneider S. H.; Rosenzweig C., Pounds J. A. 2002. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421:57–60.
- Ropelewski, C.; Halpert, M. 1986. North American precipitation and temperature patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Mon. Wea. Rev.* 114: 2352-2362.
- Ropelewski, C.; Halpert, M. 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation (ENSO). *Mon. Wea. Rev.* 115: 1606-1626.

- Ropelewski, Chester F., Michael S. Halpert, 1996. Quantifying Southern Oscillation-Precipitation Relationships. *J. Climate*. 9: 043–1059.
- Rosenthal, J.; Kotanen, P. 1994. Terrestrial plant tolerance to herbivory. *Trends in Ecology & Evolution*. 9:145-8.
- Rotz, C. A.; Buckmaster, D. R. & J. W. Comerford. 2005a. A beef herd model for simulating feed intake, animal performance, and manure excretion in farm system. *Journal Animal Science*. 83:231-242.
- Rotz, C. A.; Taube, F., Russelle, M. P., Oenema, J., Sørensen, M. A. & M. Wachendorf. 2005b. Whole-farm perspectives of nutrient flows in grassland agriculture. *Crop Science*. 45: 2139-2159.
- Rounsevell, M. D; Annetts, J. E. ; Audsley, E. ; Mayr, T. ; I. Reginster. 2003. Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 95: 465-479.
- Ruiz, R., Oregui, L. 2001. El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. *Invest. Agr: Prod. Sanid. Anim*. 16 (1):29-61.
- Ruiz, J. J., Saulo, A. C. & E. Kalnay, 2006. A regional ensemble forecast system for southeastern South America: Preliminary assessment. *Proc. Eighth Int. Conf. on Southern Hemisphere Meteorology & Oceanography, Foz do Iguazu, Brazil*. INPE. 1977–1984.
- Ruiz, M.; Golberg, A.; Martínez O. 2008. Water stress and forage production in *Tetrachne dregei* Nees, *Panicum coloratum* L. and *Eragrostis curvula* (Schrader) Nees. *International Journal of Experimental Botany*. 77: 7-20
- Ruiz, J.; Saulo, C. & E. Kalnay, 2009. Comparison of methods to generate probabilistic quantitative precipitation forecasts over South America. *Weather & Forecasting*. 24(1):319-336.
- Rummukainen, M.; Bergstrom, S.; Persson G, Rodhe J, Tjernstrom M. 2004. The Swedish regional climate modelling programme, SWECCLIM: a review. *Ambio*. 33:176–182.
- Rummukainen, M. 2010. State-of-the-art with regional climate models. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Climate Change*. 1:82–96.
- Rupa Kumar K.; Sahai A.; Krisma Kumar K.; Patwardhan S.; Mishra P.; Revadekar J.; Kamala K. Pant G. 2006. High-resolution climate change scenarios for India for the 21st century. *Curr Sci* 90:334- 345.
- Rusticucci, M; Barrucand, M. 2004. Observed trends and changes in Temperature Extremes over Argentina. *Journal of Climate*. 17(22):4099-4107.
- Ryser, P.; Lambers, H. 1995. Roots & leaves attributes accounting for the performance of fast – & slow – growing grasses at different nutrient supply. *Plant & Soil*. 170:251-265.
- Ryser, P. 1996. The importance of tissue density for growth & life span of leaves & roots: a comparison of five ecologically contrasted grasses. *Functional Ecology*. 10: 717-723.
- Ryser, P.; Aeschlimann, U. 1999. Proportional dry mass content as an underlying trait for the variation in the relative growth rate among 22 Euroasian populations of *Dactylis glomerata*. *Functional Ecology* 13:473-482.

- Sage, R. 2004. the evolution of C₄ photosynthesis. *New Phytologist* 161:341-370.
- Saint Pierre, C.; Busso, C.; Montenegro, O.; Rodriguez, G. Giorgetti, H. Montani, T. Bravo, O. 2004. Direct assessment of competitive ability & defoliation tolerance in perennial grasses. *Canadian Journal of Plant Sci.* 84:195-204.
- Saldungaray, M.C.; Adúriz, M.A. & Conti V. 2011. Caracterización Del Sector Agropecuario de los Partidos de Bahía Blanca y Coronel Rosales. Informe de la Cátedra de Gestión Agropecuaria del Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. 27p.
- Salekdeh, G.; Siopongco, H.; Wade, L.; Ghareyazie, B.; Bennett, J. 2002a. A proteomics approach to analysing drought & salt-responsiveness in rice. *Field Crops Research* 76: 199–219.
- Salekdeh, G.; Siopongco, H.; Wade, L.; Ghareyazie, B.; Bennett, J. 2002b. Proteomics analysis of rice leaves during drought stress & recovery. *Proteomics* 2, 1131–1145.
- Salih, A. Ali, I.; Lux, A.; Luxova, M. Cohen, Y.; Sugimoto Y.; Inanaga, S. 1999. Rooting, water uptake, & xylem structure adaptation to drought of two *Sorghum* cultivars. *Crop Sci.* 39: 168-173.
- Sanchez, E.E. 1985. Efecto del deficit de agua en la fisiología del pasto llorón (*Eragrostis curvula* (Schrad) Nees). Tesis Magíster en Producción Vegetal. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur.
- Sanchez, E.E.; Brevedan, R. 1991. Comportamiento frente al estrés de agua. En: Pasto Llorón. Su biología y manejo. Fernández, O.A; Brevedan, R.; Gargajo A. (Eds.). Cezos- Universidad Nacional del Sur.
- Sanders, J.O., Cartwright, T.C. 1979a. A general cattle production systems model. I: Structure of the model. *Agricultural systems* 4: 217-. Capítulo VIII Referencias Bibliográficas 231
- Sanders, J.O.; Cartwright, T.C. 1979b. A general cattle production systems model. II: Procedures used for simulating animal performance. *Agricultural systems.* 4: 289-296.
- Sanderson, M.A.; Voigt, P. & Jones, R.M. 1999. Yield & quality of warm-season grasses in central Texas. *Journal of Range Management.* 52:145–150.
- Santella, N.; Steinberg, L & G. Aguirra. 2011. Empirical estimation of the conditional probability of Natech events within the United States. *Risk Analysis J.* 31(6): 951–968.
- Santer, B.; Wigley, T.; Schlesinger, M.; Mitchell, J. 1990 Developing climate scenarios from equilibrium GCM results. MPI Report Number 47, Hamburg.
- Santer, B.; Taylor, K.; Wigley, T.; Johns, T.; Jones, P.; Karoly, D.; Mitchell, J.; Oort, A.; Penner, J.; Ramaswamy, V.; Schwarzkopf, M.; Stouffer, R.; Tett, S. 1996. A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere. *Nature.* 384:39–46.
- Sanz, A.; Bernués, A., Villalba, D., Casasús, I., Revilla, R. 2004. Influence of management and nutrition on postpartum interval in Brown Swiss and Pirenaica cows, *Livestock Production Science* 86:179–191.

- Sargent, R. G. 2003. Verification and validation of simulation models. En CHICK, S., (Eds.) Sánchez, P. J., Ferrin, D. & Morrice, D. J. Proceedings of the 2003. Winter Simulation Conference. 37-48. Piscataway, NJ. IEEE.
- Salathe E. P. 2003. Comparison of various precipitation downscaling methods for the simulation of streamflow in a rainshadow river basin. *Int. J. Climatol.* 23:887-901.
- Saldungaray M.C. 2000. Adopción de tecnologías en empresas rurales del Partido de Bahía Blanca. Trabajo de Tesis Maestría Economía Agraria y Administración Rural. Departamento de Economía, Universidad Nacional del Sur, 168pp.
- Saulo, A. C., & L. Ferreira, 2003: Evaluation of quantitative precipitation forecasts over southern South America. *Aust. Meteor. Mag.* 52, 81–93
- Saulo, C., Cardazzo, S.; J. Ruiz; C. Campetella; A. Rolla. 2008. El sistema de pronóstico experimental del Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, Meteorologica. Volumen 33:83-97.
- SCA. 1990. Feeding standards for Australian livestock. 266 p. Standing Committee on Agriculture (SCA). Ruminants Subcommittee. CSIRO Publications, Melbourne, Australia.
- Scian, B. 1999. Variabilidad interanual de la precipitación en la pradera pampeana y su relación con algunos índices de circulación atmosférica. Tesis Doctor en Ciencias de la Atmósfera. Universidad de Buenos Aires.
- Scian, B. 2001. Fases del SOI y su relación con los corrimientos de la mediana de precipitación mensual en la Pampa argentina. Resúmenes extendidos Climet IX/ Congremet VIII. Buenos Aires.
- Scian B.; Labraga J.C.; Reimers W. & Frumento, O. 2006. Characteristics of large-scale atmospheric circulation related to extreme monthly rainfall anomalies in the Pampa Region, Argentina, under non-ENSO conditions. *Theor. Appl. Climatol.* 85:89-106.
- Scian B. & Pierini J. 2008. Análisis de cambio climático en extremos de precipitación estival sobre un sector de Argentina. Actas XII Reunión Argentina de Agrometeorología. San Salvador de Jujuy . Argentina
- Schillo, K.K. 1992. Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in cattle & sheep. *J. Anim. Sci.* 70:1271-1282.
- Schlapfer, B.; Rayser, P. 1996. Leaf & roots turnover of three ecologically contrasting grass species in relation of their performance along a productivity gradient. *Oikos.* 75, 398-406.
- Schmidt-Thomé, P. 2005. The spatial effects & management of natural & technological hazards in Europe. Luxemburgo. ESPON. thematic project 1.3.1. available in www.espon.eu.
- Schonfeld, M.; Johnson, R.; Carver, B.; Mornhinweg, D. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop. Sci.* 28:526-531.
- Schoonmaker, J. P.; M. Cecava; F. Fluharty; H. Zerby & S. Loerch. 2003. Effect of source and amount of energy and rate of growth in the growing phase on

- performance and carcass characteristics of early- and normal-weaned steers¹. *J. Ani. Sci.* 82(1):273-282.
- Schultz, C. L.; Ely, D.; Aaron, D.; Burden B. & J. Wyles. 2005. Comparison of an early & normal weaning management system on cow & calf performance while grazing endophyte-infected tall fescue pastures. *J. Anim. Sci.* 83(2):478-485.
- Seber, G.A.F. & Wild, C.J. 1989. *Nonlinear Regresión*. New York, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. 2007. Secretaria de Ambiente y Desarrollo sustentble. República Argentina. 201p
- Smeaton, D. & Vivanco H. 2001. Potential benefits from new reproductive technologies in commercial dairy herds; a case study simulation. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production.* 61: 199-202.
- Seiler, R.; M. Hayes & L. Bressa N. 2002. Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. *International Journal of Climatology.* 22 (11):1365-1376.
- Semple, W.S.; Cole, I.A. & Koen T.B. 2003. Performance of some perennial grasses on severely salinized sites on the inland slopes of New South Wales. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 43: 357-371.
- Seth, A.; Maisa Rojas, Sara A. Rauscher. 2010. CMIP3 projected changes in the annual cycle of the South American Monsoon. *Climatic Change.* 98(3-4): 331-357.
- Setimela, P.; Andrews, D.; Eskridge, K. 2007. Genetic evaluation of seedling heat tolerance in *Sorghum*. *African Crop Science Journal.* 15(1):33-42.
- Sevilla, G.; Spada, M.C.; D. Basigaluppi. 2011. Avances en agropiro alargado, Red nacional de ensayos comparativos de producción de materia seca bajo corte de cultivares de agropiro alargado, Ciclos 2007/2009. Ed. INTA. p.51.
- Sevilla, G.; Spada, M.C. 2012. Avances en agropiro alargado, Red nacional de ensayos comparativos de producción de materia seca bajo corte de cultivares de agropiro alargado – Ciclos 2010/2011. Ed. INTA. p 39.
- Shafer, J.; Jason C.; Steenburgh, J.; Justin A.; Cox, W.; Monteverdi, J. 2006: Terrain Influences on Synoptic Storm Structure and Mesoscale Precipitation Distribution during the third intensive observing period of the Intermountain Precipitation Experiment. *Mon. Wea. Rev.* 134: 478-497.
- Shapiro, S.S.; Francia, R.S. 1972. An approximate analysis of variance test for normality. *Journal of the American Statistical Association.* 67: 215-216.
- Sharp, R.; Davies, W. 1979. Solute regulation and growth by roots and shoots of water stressed maize plants. *Planta.* 147:43-49.
- Shannon, R.; Johannes, J.D. 1976. Systems simulation: the art and science. *IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics* 6(10):723-724.
- Shannon, E. 1988. *Simulación de sistemas. Diseño, desarrollo e implementación.* 427 p. Editorial Trillas, México DF.

- Shoop, M.; McIlvain, E. 1970. Growth patterns of weeping lovegrass & how they relate to management. P 1-8. In: Dalrymple, R. (Ed.) Proceed. of the First Weeping Loovegrass Symposium. Noble Foundation, Inc. Oklahoma. USA.
- Short, R. E.; Bellows, R. A.; Staigmiller, R. B.; Berardinelli, J. G.; Custer, E. E. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus & infertility in postpartum beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68:799-816.
- Short, R. E.; Grings, E.; MacNeil, M.; Heitchmidt, R.; Haferkamp, M.; Adams, D. 1996. Effects of time of weaning, supplement, & sire breed of calf during the fall grazing period on cow-calf performance. *Journal of Animal Science* 74:1701-1710.
- Sierra, E.; Hurtado, H.; Spescha, L. 1994. Corrimiento de la isoyetas anuales medias decenales en la Región Pampeana (1941-1990). *Rev. Fac. Agr. (UBA).* 14; 139-144.
- Simms, E. 1992. Costs of plants resistance to herbivory. In: *Plants Resistance to Herbivory & Pathogens*. Edsd. Fritz, R. & Simms E. pp. 392-425. University of Chicago Press. USA.
- Sinclair, K; Broadbent, P & J. Hutchinson. 1994. The effect of pre- and post-partum energy and protein supply on the blood metabolites and reproductive performance of single- and twin-suckling beef cows and their calves. *Anim. Prod.* 37:353-363.
- Singels, A. & J. M. De Jager. 1991. Determination of optimum wheat cultivar characteristics using a growth model. *Agricultural Systems.* 37:25-38.
- Sitch, S.; Smith, B.; Prentice, I.; Arneeth A.; Bondeau, A.; Cramer, W.; Kaplan J.; Levis, S.; Lucht, W. & Sykes, M. 2003. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model *Glob. Change Biol.* 9:161–85.
- Sitch, S.; Huntingford, C.; Gedney, N.; Levy, P.; Lomas, M.; Piao, S.; Betts, R.; Ciais, P.; Cox, P.; Friedlingstein, P. 2008. Evaluation of the terrestrial carbon cycle, future plant geography and climate-carbon cycle feedbacks using five dynamic global vegetation models (DGVMs) *Glob. Change Biol.* 14 2015–39.
- Still, C.; J. Berry; G. J. Collatz; R. DeFries. 2003. Global distribution of C₃ and C₄ vegetation: Carbon cycle implications. *Global Biogeochem. Cycles* 17:1006-1013.
- Skamarock, W. C.; Klemp, J.; Dudhia, J.; D. O. Gill; D. M. Barker; W. Wang & J. G. Powers. 2005. A description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR Tech. Note NCAR/TN-468+STR, 88 pp.
- Skidmore, E.L.; M. Kumar & W.E. Larson. 1979. Crop residue management for wind erosion control in the Great Plains. *J. Soil and Water Conserv.* 34, 90-94
- Smirnoff N. 1998. Plant resistance to environmental stress. *Current Opinion in Biotechnology.* 9:214–219.
- Snedecor, G.W.; Cochran, W.G. 1967. *Statistical Methods*. Ames, IA: Iowa State University Press.

- Snyman, H.A. 1994. Evapotranspiration, Water-Use Efficiency & Quality Of Six Dryl& planted pasture species & natural vegetation, in a semi-arid rangel&. African Journal of Range Forage Science. 11:82–88.
- Soares de Lima Lapetina; J.M. 2009. Modelo bioeconómico para la evaluación del impacto de la genética y otras variables sobre la cadena cárnica vacuna en Uruguay. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica De Valencia Departamento De Estadística E Investigación Operativa Aplicadas Y Calidad. España.
- Sobrado, M. 1986. Tissue water relations & leaf growth of tropical corn cultivars under water deficits. Plant Cell Environ. 9:451-457
- Solman, S. A.; Cabré, M. F. & Nuñez, M. N. 2007. Regional Climate Change experiments over southern South America: I: Present Climate. 2008 Climate Dynamics 30:533-552.
- Solman, S. & N. Pessacg. 2011a. Regional climate simulations over South America: sensitivity to model physics and to the treatment of lateral boundary conditions using the MM5 model. Clim. Dyn. DOI 10.1007/s00382-011-1049-6
- Solman, S. & N.. Pessacg, 2011b: Evaluating uncertainties in Regional Climate simulations over South America at the seasonal scale. Clim. Dyn. DOI 10.1007/s00382- 011-1219-6
- Sorensen, J. & Kristensen E. 1992a. Systemic modelling: a research methodology in livestock farming. In: Global appraisal of livestock farming systems and study on their organisational levels: concepts, methodology and results. Proceedings CEC-Seminar, EUR 14479. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg. Pp. 45-57.
- Sorensen, J.; Kristensen, E.; Thysen I. 1992b. A stochastic model simulating the dairy herd on a PC. Agricultural Systems. 39: 177-200.
- Spiegel, M.R.; Schiller, J.; Srinivasan, R. A. 2007. Análisis de la varianza. Probabilidad y Estadística. Schaum's outline of theory and problems of probability and statistics. Schaum (2ª edición). México. Ed. McGraw-Hill. pp. 335-371.
- Spitzer, J.; Morrison, D.; Wettemann, R.; Faulkner, L. C. 1995. Reproductive responses & calf birth & weaning weights as affected by body condition at parturition & postpartum weight gain in primiparous beef cows. J. Anim. Sci. 73:1251–1257.
- Sprott, L. ; Selk, G. & D. C. Adams. 2001. Review: Factors affecting decisions on when to calve beef females. Prof. Anim. Sci. 17:238–246.
- Staggenborg, S.; Dhuyvetter, K. & Gordon W. 2008. Grain *Sorghum* & corn comparisons: Yield, economic & environmental responses, Agronomy Journal. 100:1600-1604.
- Stalker, L. ; Ciminski, L.; Adams, D.; Klopfenstein, T.; Clark, R. 2007. Effects of weaning date & prepartum protein supplementation on cow performance & calf growth. Rangel& Ecology Management 60:578-587.
- Steel, R.G. & J.H. Torrie. 1988. Bioestadística. Principios y procedimientos. 622 p. McGraw-Hill, New York, USA.

- Stensrud, D. & N. Yussouf. 2007: Reliable probabilistic quantitative precipitation forecasts from a short-range ensemble forecasting system. *Wea. Forecasting*. 22:3–17.
- Stephens, G.L. 1978. Radiation profiles in extended water clouds: II. Parameterization schemes. *J. Atmos. Sci.* 35:2123-2132.
- Stephens, G.L. 1984. The parameterization of radiation for numerical weather prediction & climate models. *Mon Wea Rev.* 112: 826-867.
- Sterman, J.D. 2000. *Business dynamics. System thinking and modeling for a complex world.* Boston, Mc-Graw-Hill Education. 982 p.
- Stern, N. 2006. Stern review on the economics of climate change. Technical report, UK Government.
- Still, C; Berry, J.; Collatz, G.; DeFries, R. 2003. Global distribution of C₃ and C₄ vegetation: Carbon cycle implications. *Global Biogeochem. Cycles*. 17:1006:1018
- Stöckle, C. O. ; Donatelli, M.; R. Nelson. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy* 18:289-307.
- Stone, L.; Goodrum, D.; Jaafar, M. & Khan, A. 2001. Rooting Front & water depletion depths in grain *Sorghum* & sunflower. *Agron. Journal*. 93: 1105-1110.
- Stone, L. & Schlegel, A. 2006. Yield – Water supply relationships of grain *Sorghum* & winter wheat. *Agron. Journal*. 98: 1359 – 1366.
- Story, C.; Rasby, R; R. T. Clark, & C. T. Milton. 2000. Age of calf at weaning of spring-calving beef cows and the effect on cow and calf performance and production economics. *J. Anim. Sci.* 78:1403–1413.
- Story, C.; Rasby, R.; Clark, R. & C. T. Milton. 2000. Age of calf at weaning of spring-calving beef cows & the effect on cow & calf performance & production economics. *J. Anim. Sci.* 78:1403–1413.
- Stott, P.; Stone, D.; Allen, M.R. 2004. Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*. 432: 610-614.
- Strauss, S.; Agrawal, A. 1999. The ecology & evolution of plants tolerate to herbivory. *Trends in Ecology&Evolution*. 14:179-85.
- Streck, A. N. & M. C. Alberto. 2006. Simulacao do impacto da mudanca climática sobre a agua disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. *Ciencia Rural*. 36: 424-433.
- Stritzler, N.P.; Pagella, J.H.; Jouve, V. & Ferri, C.M. 1996. Semi-arid warm-season grass yield & nutritive value in Argentina. *Journal of Range Management* 49:121-125.
- Stritzler, N.; Petrucci, H.; Frasinelli, C.; Veneciano, J.; Ferri, C; & Viglizzo, E. 2007. Variabilidad climática en la Región Semiárida Central Argentina. Adaptación tecnológica en sistemas extensivos de producción animal. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 27:111-123.
- Stritzler N. 2008. Producción y calidad nutritiva de especies megatérmicas. *Rev Ar. Prod. Anim.* 28(2):165-168

- Subak S . 1999. Global environmental costs of beef production. *Ecol. Econ.*30:79–91.
- Tadross, M. A.; Gutowski Jr; Hewitson B.C.; Jack C. & New M. 2006. MM5 simulations of interannual change and the diurnal cycle of southern African regional climate. *Theor. Appl. Climatol.* 86:63-80.
- Taleb, N. 2007. *The Black Swan: the Impact of the Highly Improbable*. New York, Random House.
- Tambussi, E.A.; J. Bort, & J.L. Araus. 2007. Water use efficiency in C₃ cereals under Mediterranean conditions: A review of physiological aspects. *Ann. Appl. Biol.* 150:307–321.
- Taylor, K.; Stouffer, R. J.; Meehl, G. 2009: A summary of the CMIP5 Experimental Design. http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/docs/Taylor_CMIP5_design.pdf.
- Taylor, K.; Stouffer, R. J.; Meehl, G. 2011: The CMIP5 Experiment Design. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, submitted.
- Tebaldi, C.; K. Hayhoe; J. Arblaster & G. A. Meehl. 2006. Going to the extremes; an intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events. *Climatic Change*, 79:185–211.
- Tedeschi, L.; Fox, D.; Guiroy, P.J. 2004. A decision support system to improve individual cattle management.1. A mechanistic, dynamic model for animal growth. *Agric. Syst.* 79: 171–204.
- Tejedor Tejedor, F. J. 1999. *Análisis de varianza*. Schaum. Madrid: La Muralla S.A.. ISBN 84-7635-388-X.
- Tess, M. & Kosltad, B. 2000. Simulation of cow-calf production systems in a range environment: I. Model development. *Journal of Animal Science.* 78: 1159-1169.
- Tett, S.; Mitchell, J.; Parker, D.; Allen, M. 1996. Human influence on the atmospheric vertical temperature structure: detection & observation. *Science.* 274:1170–1173
- Texeira, M & J. Paruelo. 2006. Demography, population dynamics and sustainability of the Patagonian sheep flocks. *Agricultural Systems.* 87(2):123-146.
- Timmermann, A., Oberhuber, J., Bacher, A., Esch, M., Latif, M. & Roeckner, E. 1999. Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature* 398:694–697.
- Tischler, C. R. & Ocumpaugh W. R. 2004. Kleingrass, Blue Panic, and Vine Mesquite. En: Moser, L E et al. (Ed.) *Warm - Season (C₄) Grasses*. Madison, WI, ASA, CSSA, and SSSA, páginas 623-649.
- Thomas, H.; Howarth, C. 2000. Five ways to stay green. *Journal of Experimental Botany* 51: 329-337.
- Thornton, P.K.; J. Van de Steeg; A. Notenbaert & M. Herrero. .2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems.* 101(3):113-127.

- Tischler, C. R. & Ocumpaugh, W. R. 2004. Kleingrass, Blue Panic, & Vine Mesquite. En: Moser, L E et al. (Ed.) Warm - Season (C4) Grasses. Madison, WI, ASA, CSSA, & SSSA, páginas 623-649.
- Thorn, H.C. 1966: Some methods of climatological analysis. WMO Technical Note Number 81:16-22.
- Tobias, B.; Mendoza, G.D.; Arjona, E.; Garcia-Bojalil, C.; Suarez, M.E. 2006. A simulation model of performance of growing steers grazing in tropical pastures. *J. Anim. Sci.* 75(1): 271-279.
- Torres, Y. 2011. Características morfofisiológicas y producción de forraje en gramíneas perennes primavera estivales nativas, naturalizadas e introducidas en el centro de Argentina. Tesis de Doctor en Agronomía. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur. p. 210
- Torres Carbonell C.A., Adúriz, M.A, Saldungaray M.C. Y Gargano, A.O. 2004. Efectos de la Devaluación sobre la Unidad Económica de la Empresa Agropecuaria Modal del Partido de Bahía Blanca. *Anales del 1º Congreso Regional de Economistas Agrarios (Argentina- Chile - Uruguay)*. pp.115-130. Mar del Plata, Argentina.
- Torres Carbonell C.A., Adúriz, M.A, Saldungaray M.C. 2010. Desempeño de las empresas agropecuarias del sudoeste bonaerense semiárido desde 1960 a 2010. 2. Impacto de los precios de los productos, insumos y capitales. *Revista de la XLI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria*. pp. 289-301.
- Toth, Z. & E. Kalnay. 1993. Ensemble forecasting at NMC: The generation of perturbations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 74:2317–2330.
- Trevisan, N., Silveira, V.C.P., Quadros, F.L.F., Silva, A. 2009. Desempenho de bovinos simulado pelo modelo Pampa Corte e obtido por experimentação. *Cienc. Rural* 39(1): 173-181.
- Turner, B.L.; Rhoadesa, R.D. ; Tedeschib,L.; R.D. Hanagriffb; K.C. McCuistiona; B.H. Dunnc. 2013. Analyzing ranch profitability from varying cow sales & heifer replacement rates for beef cow-calf production using system dynamics. *Agricultural Systems*. 114:6–14.
- UNFCCC. 2005. Feeling the Heat: Electronic Background Document—United Nations Convention on Climate Change. Accessed.http://unfccc.int/essential_background/feeling_the_heat/items/2918.php.
- Unger, P. & Baumhardt, R. 1999. Factors related to dryland grain *Sorghum* yield increases: 1939 through 1997. *Agron. Journal*. 91: 870-875.
- USDA, 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Second Edition, USDA: Washington, D.C.
- USDA. 2009a. Beef 2007-08 Part I: Reference of Beef Cow-Calf Management Practices in the United States, 2007–08, USDA: APHIS:VS. CEAH, National Animal Health Monitoring System, Fort Collins, CO.
- USDA. 2009b. Beef 2007-08 Part II: Reference of Beef Cow-calf Management Practices in the United States, 2007–08, USDA: APHIS:VS. CEAH, National Animal Health Monitoring System, Fort Collins, CO.

- Urrutia, R. & Viulle, M. 2009. Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. *J. Geophys. Res. Atmos* 114 (D2): D02108.
- Uthes, S.; Sattler, C.; Zander, P.; Piorr, A.; Matzdorf, B.; Damgaard, M.; Sahrbacher, A.; Schuler, J.; Kjeldsen, C.; U., Heinrich & H., Fischer. 2010. Modeling a farm population to estimate on-farm compliance costs and environmental effects of a grassland extensification scheme at the regional scale. *Agricultural Systems*. 103(5):282-293.
- Vadez, V.; Deshpande, S.; Kholova, J.; Hammer, G.; Borrell, A.; Talwar, HS & Hash, CT. 2011. Staygreen QTL effects on water extraction & transpiration efficiency in a lysimetric system: Influence of genetic background. *Functional Plant Biology*. 38:553–566.
- Van Arendonk, J.; Porter, M. 1994. the chemical composition & anatomical of leaves of grass species differing in relative growth rate. *Plant Cell Environment*. 17 :963-970.
- Van der Meijden, E.; Wijn, H.; Verkaar, J. 1998. Defense & regrowth, alternative plant strategy in the struggle against herbivores. *Oikos*. 51:355-363.
- Vecchi, G.A.; Clement, A.; Soden, B. 2008. Examining the Tropical Pacific's response to global warming. *EOS*. 89:81, 83
- Ven Te, C.; Maidment, D.; Mays, L.1994. *Hidrología Aplicada*. Ed. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá. Colombia.
- Veneciano, J.H. & Terenti, O.A. 1997. Efectos de la defoliación y la fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad de *Digitaria eriantha* cv. Irene. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa. Argentina*. 9: 41–56.
- Veneciano, J.H.; Frigerio, K.L.; Frasinelli, C.A. 2006. Acumulación De Forraje E Indicadores De Calidad En *Digitaria Eriantha* Cv. Irene Bajo Diferentes Frecuencias De Defoliación. *RIA*. 35 (3): 121-133
- Vera, C.; A. Higgins; B. Amador; C Ambrizzi; D. Garreaud, E. Gochis, F. Gutzler; G. Lettenmaier; H. Marengo, I. R. Mechoso, J. Nogues-Paegle; K. Silva; D. Zhangl. 2006. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *J. Climate*. 19:4977-5000.
- Vera, C. & G. Silvestri, 2009: Precipitation interannual variability in South America from the WCRP-CMIP3 Multi-model dataset. *Climate Dynamics*. 32:1003-1014.
- Vergara, G. 2008. Evolución de los sistemas de producción agropecuaria en la región oriental de la provincia de La Pampa en relación al cambio del régimen pluviométrico 1971-2000 .Tesis de Magíster en Ciencias Agrarias. Departamento de Agronomía. Universidad Nacional del Sur.
- Verkaar, H.1988. Are defoliators beneficials for their host plants in terrestrial ecosystems- a review. *Acta Botanica Neerlandica*. 37:137-152.

- Viglizzo E.; Roberto, Z.; Brockington, N. 1991. Agroecosystems performance in the semiarids pampas of Argentina and their interactions with the environment. *Agric. Ecosystems Environment*. 36:23-36.
- Viglizzo, E.; Robeto, Z; Filippin, M; Pordomingo, A. 1995. Climate variability and agroecological change in the central Pampas of Argentina. *Agric. Ecosystems Environment*. 55:7-16.
- Villalba D. 2000. Construcción y utilización de un modelo estocástico para la simulación de estrategias de anejo invernal en rebaños de vacas nodrizas. Tesis Doctoral. Departamento de Producción Animal. Universidad de Lleida. España.
- Villalba, D.; Casasús, I.; Sanz, A.; Bernués, A.; Estany, J., Revilla, R. 2006. Stochastic simulation of mountain beef cattle systems. *Agricultural Systems*. 89: 414–434.
- Villalba, D.; Ripoll, G.; Ruiz, R. & A. Bernués. 2010. Long-term stochastic simulation of mountain beef cattle herds under diverse management strategies. *Agricultural Systems*. 103(5):210-220.
- Voigt, P.W.; Horn, F.P. & Dewald, C.L. 1981. Forage quality response of four lovegrasses to stage, interval & season of harvest. *Agronomy Journal*. 73: 877–884.
- Voight, P.; Rethman, N. ; Poverene, M. 2004. Lovegrases. In: Warm season (C4) Grasses. *Agronomy monograph no 45*. American Society of Agronomy. USA.
- Vogel, K.; Jensen, K. 2001. Adaptation of perennial triticeae to the eastern Central Great Plains. *Journal of Range Management*. 54:674-679.
- Volodin, E. & Diansky, N. 2004. ElNiño reproduction in coupled general circulation model of atmosphere and ocean. *Russian Meteorology and Hydrology*, 12: 5–14.
- Volodin, E.; Diansky, N.; Gusev A. 2010. Simulating Present Day Climate with the INMCM4.0 Coupled Model of the Atmospheric and Oceanic General Circulations. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics* 46: 414-431. DOI: 10.1134/S000143381004002X.
- Von Storch, H.; Zorita, E.; Cubasch, U. 1993. Downscaling of global climate change estimates to regional scales: an application to Iberian rainfall in winter. *Journal of Climate*. 6:1161-1171.
- Von Storch H.; Hewitson B. & Mearns L. 2000. Review of empirical downscaling techniques. *Regional climate development under global warming*. General Tech. Rep. 4: 29-46.
- Waldon, H.; Gliessman, S. & Buchanan, M. 1998. Agroecosystem responses to organic & conventional management practices. *Agricultural Systems*. 57:65-75.
- Walter, C.; Rossel, V.. & A. B. McBratney. 2003. Spatio-temporal simulation of the field-scale evolution of organic Carbon over the landscape. *Soil Science Society American Journal*. 67:1477-1486.
- Wan, C. & Sosebee, R. 2000. Central dieback of the dryland bunchgrass *Eragrostis curvula* (weeping lovegrass) re-examined: The experimental clearance of tussock centers. *Journal of Arid Environments* 46(1): 69–78.

- Wand, S.; Midgley, G.; Stock, W. 2001. Growth responses to elevated CO₂ in NADPME, NAD-ME & PCK C₄ grasses & a C₃ grass from South Africa. *Australian Journal of Plant Physiology* 28(1): 13–25.
- Watson, R.; Zinyowera, M.; Moss, R. 1996. Climate change 1995: impacts, ad Kjelström E, Barring L (2006) Evaluating the methods of pattern-scaling in time. *Geophys. Res. Abstr.* 8:09991
- Warren , A. 2007. Sustainability: A view from the wind eroded field. *J. Env.Sci.* 19(4) :470-474.
- Warren, A.. 2010. Sustainability in aeolian systems. *Aeolian Res.* 1:95-99.
- Weder, C.; Price,M.; Okine, E.; Undersholz, J. 2004. Effects of early weaning on production efficiency in a cow-calf system. *Proc. Am. Soc. An. Sci.* 55:117-121.
- Weisberg, R.H.; C. Wang. 1997. Slow variability in the equatorial west-central Pacific in relation to ENSO. *J. Clim.* 10:1998-2017.
- Wentworth, T.R. 1983. Distribution of C₄ plants along environmental and compositional gradients in southeastern Arizona. *Vegetatio* 52: 21-34.
- Wertz, A.; Berger,L; Walker, P.; Faulkner, D.; F. McKeith, & S. Rodriguez-Zas. 2002. Early weaning and postweaning nutritional management affect feedlot performance, carcass merit, and the relationship of 12th rib fat, marbling score, and feed efficiency among Angus and Wagyu heifers. *J. Anim. Sci.* 80:28–37.
- Werth, L.A., Azzam, S.M., Nielsen, M.K., Kinder, J.E. 1991. Use of a simulation model to evaluate the influence of reproductive performance and management decisions on net income in beef production. *Journal of Animal Science.* 69: 4710-4721.
- Westgate, M.; Boyer, J. 1985. Osmotic adjustment & the inhibition of leaf, root, stem & silk growth at low water potentials in maize. *Planta.* 164: 540-549.
- Wilhite, D. A. 2000. Drought as a natural hazard: Concepts & definitions. In: *Drought: A Global Assessment.* (Ed) Wilhite, D. A. Routledge. pp 3–18.
- Weston, R. H. 1982. Animal factors affecting feed intake. In: *Nutrition limits to animal production from pasture* (Ed. J. B. Hacker). pp. 183-198. CAB Farnham Royal. Slough.
- Wettemann, R.P.; Lents, C.A.; Ciccioli, N.H.; White, F.J.; Rubio, I. 2003. Nutritional & suckling- mediates anovulation in beef cows. *J. Anim.Sci.* 81(2):E48-E59.
- Whetton, P. H.; J. J. Katzfey; K. J. Hennessy, X Wu, J. L. McGregor & K. Nguyen. 2001. Developing scenarios of climate change for Southeastern Australia: An example using regional climate model output. *Cimate Res.* 6:181-201.
- Wileman B. W.; Thomson D. U.; Reinhardt C. D.; Renter D. G. 2009. Analysis of modern technologies commonly used in beef cattle production: Conventional beef production versus nonconventional production using meta-analysis. *J. Anim. Sci.* 87:3418–3426.

- Wilby, R.L. & Wigley, T. 1997. Downscaling general circulation model output: A review of methods & limitations. *Progress in Physical Geography*. 21:530-548.
- Wilby, R.L.; Wigley, T. D.; Conway, P.D; Jones, B.C.; Hewitson, J. ;& Wilks, D. 1998. Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods. *Water Resources Research*. 34:2995-3008.
- Wilby, R. L.; Hay, L.; & G.H. Leavesley. 1999. A comparison of downscaled & raw GCM output: Implications for climate change scenarios in the San Juan river basin, Colorado. *Journal of Hydrology*. 225:67-91.
- Wilby, R. L.; Dawson, C. W. & Barrow, E. M. 2002. SDSM - a tool for decision support for assessing regional impacts of climate change. *Environmental Modelling & Software*. 17:147-159.
- Wilkins, R; Garwood, E. 1986. Effects of treading, poaching and fouling on grassland production and utilization. *British Grassland Society. Symposium N° 19. Ed Frame. Pp.19-31.*
- Wilks, D.S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press. Londres, Inglaterra.
- Willis,J; Minden A. & J. C. Snyder. 1969. Monte Carlo simulation of management systems. *Canadian Journal of Agricultural*. 17(1):42-49.
- Williams, D. B., R.Vetter, W. Burroughs & D. G. Topel. 1975. Effects of ration protein level & diethylstilbestrol implants on early-weaned beef bulls. *J. Anim. Sci*. 41:1525
- Wilson, J. R.; Brown, R. H.; Windham, W. R. 1983. Influence of leaf anatomy on the dry matter digestibility of C₃, C₄, & C₃/ C₄ intermediate types of Panicum species. *Crop Sci*. 23:141–146.
- Wilson,P.; Thompson, K.; Hodgson, J. 1999. Specific leaf area & leaf dry matter contents as alternative predictors of plant strategy. *New Phytologist* 143:155-162.
- Winer, B.J. 1971. *Statistical Principles in Experimental Design*. 2nd Ed., McGraw-Hill Book Co., New York.
- Winterfeldt D.; Kavet, R.; S. Peck; M. Mohan & G. Hazen. 2012. The value of environmental information without control of subsequent decisions. *Risk Analysis J*. 32(12): 2113–2132.
- Winzer N.; Camina R. 2007a. Apuntes del Curso de Posgrado: Análisis de la Varianza. Universidad Nacional del Sur. Dto. Matemática. 150 p.
- Winzer N.; Camina R. 2007b. Apuntes del Curso de Posgrado: Análisis de Regresión. Universidad Nacional del Sur. Dto Matemática. 90 p.
- Winzer N.; Camina R. 2008. Apuntes del Curso de Posgrado: Análisis Exploratorio de Métodos Multivariados. Universidad Nacional del Sur. Dto Matemática.110 p.
- WMO. 1975. *Drought & Agriculture. Technical Note. N° 138. WMO - N° 392*
- Woli, P; Jones, J.; Ingram, K. & Fraisse, C. 2012. Agricultural Reference Index for Drought (ARID). *Agronomy Journal*. 104(2): 287-300.

- Woodward, S.; Romera, A.; Beskow, W.; Lovatt, S.J. 2008. Better simulation modelling to support farming system innovation: review & synthesis, New Zealand Journal of Agricultural Research. 51: 235-252.
- World Commission on Environment & Development. 1987. Our Common Future (The Brundtland Report). Oxford University Press. Oxford. 374 pp.
- Wright, I.A.; Rhind, S.M.; Russel, A.J.; Whyte, T.K.; McBean, A.J.; McMillen, S.R.; 1987. Effects of body condition, food intake & temporary calf separation on the duration of the postpartum anoestrus period & associated LH, FSH & prolactin concentrations in beef cows. Anim. Prod. 45, 395-402.
- Wright, I.; Rhind, S.; Whyte, T.; Smith, A. J. 1992. Effects of body condition at calving & feeding interval after calving on LH profiles & the duration of the postpartum anoestrous period in beefcows. Anim. Prod. 55:41–46.
- Xu, H.; Wang, Y.; Xie, S. 2004. Effects of the Andes on Eastern Pacific Climate: a regional atmospheric model study. J. Climate 17: 589-602.
- Young, K.C. 1992. A Three-way model for interpolating for monthly precipitation values. Monthly Weather Review, 120:2561-2569.
- Youngquist, J.; Carter, D.; Clegg, A. 1990. Grain and forage yield and stover quality of *Sorghum* and millet in low rainfall environments. Exp. Agric. 26:279-286.
- Yu Jingjin; Lihua Chen; Ming Xu & Bingru Huang. 2012 . Effects of elevated CO₂ on physiological responses of tall fescue to elevated temperature, drought stress, and the combined stresses. Crop Science 52(4):1848-1858.
- Yuan, Z.; Li, L.; Han, X.G; Wan, S.; Zhang, W. 2005. Variation in nitrogen economy of two *Stipa* species in the semiarid region of northern China. Journal of Arid Environment 61:13-25.
- Yukimoto, S. & Noda, A. 2002. Improvements of the Meteorological Research Institute Global Ocean-atmosphere Coupled GCM (MRI-CGCM2) and its climate sensitivity. Technical Report 10. NIES. Japan.
- Yukimoto, S.; Yoshimura, H.; Hosaka, M.; Sakami, T.; Tsujino, H.; Hirabara, M.; Tanaka, T.; Deushi, M.; Obata, A.; Nakano, H.; Adachi, Y.; Shindo E.; Yabu, S.; Ose, T.; Kitoh, A. 2011. Meteorological Research Institute-Earth System Model Version 1 (MRI-ESM1). Model Description. Technical Reports of the Meteorological Research Institute. No.64, 83 pp
- Zamora, M.; Melin, A. 2007. Sorgo en el Sur. Red regional de evaluación de cultivos de Sorgo. Ed INTA. p. 43.
- Zhang, Y.; Wallace, J.M. & D.S. Battisti. 1997. ENSO-like Interdecadal Variability: 1900-93. J. Clim. 10:1004-1020.
- Zhang, F.; Snyder, C. & R. Rotunno. 2002. Mesoscale predictability of the “surprise” snowstorm of 24–25 January 2000. Mon. Wea. Rev. 13:1617–1632.
- Zhu, Y.; Toth, Z; R. Wobus; D. Richardson & K. Mylne. 2002: The economic value of ensemble-based weather forecasts. Bull. Amer. Meteor. Soc. 83:73–83.

ANEXO I: Producción de Materia Seca y precipitación acumulada estacional de los recursos forrajeros evaluados en los sitios Cabildo y Bahía Blanca (2006-2012) utilizados en el análisis de regresión.

Tabla 10. Producción de Materia Seca de Sorgo Forrajero híbrido cv. VDH 701y precipitación acumulada en la estación de verano (DEF) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701 (DEF)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	148	2435	2856	3169	2820
Bahía Blanca	2007	226	4978	5704	5450	5341
Bahía Blanca	2008	217	4282	4740	4925	4649
Bahía Blanca	2009	133	1296	1032	1651	1326
Bahía Blanca	2010	111	383	547	914	615
Bahía Blanca	2011	190	3594	3967	4113	3892
Bahía Blanca	2012	239	6273	6885	7161	6773
Cabildo	2006	142	2471	2211	1934	2341
Cabildo	2007	244	6551	7145	7458	7051
Cabildo	2008	185	3810	4230	4436	4159
Cabildo	2009	173,7	3054	3497	3996	3516
Cabildo	2010	122	868	1097	581	982
Cabildo	2011	228	4592	5134	5349	5025
Cabildo	2012	130	1389	1023	1709	1374

Tabla 11. Producción de Materia Seca de Sorgo Forrajero híbrido cv. VDH 701y precipitación acumulada en la estación de otoño (MAM) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

Sorgo forrajero híbrido cv. VDH 701 (MAM)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	79	1000	821	1551	1124
Bahía Blanca	2007	47	496	605	938	680
Bahía Blanca	2008	246	3110	2865	3685	3220
Bahía Blanca	2009	164	2020	1953	2442	2138
Bahía Blanca	2010	80	1168	958	1812	1313
Bahía Blanca	2011	116	1557	1612	1973	1534
Bahía Blanca	2012	177	2191	2342	2946	2493
Cabildo	2006	89	1432	1445	1993	1623
Cabildo	2007	65	1104	584	712	1104
Cabildo	2008	231	2797	3090	3534	3140
Cabildo	2009	199,6	2023	2178	2837	2346
Cabildo	2010	74	561	1060	684	810
Cabildo	2011	82	1213	1808	1274	1511
Cabildo	2012	111	1649	1967	2507	1857

Tabla 12. Producción de Materia Seca de *Avena sativa* cv. Cristal y precipitación acumulada en la estación de otoño (MAM) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Avena sativa</i> cv Cristal (MAM)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	79	253	234	474	320
Bahía Blanca	2007	47	334	101	177	204
Bahía Blanca	2008	246	1835	1919	2255	2003
Bahía Blanca	2009	164	858	1094	1576	1176
Bahía Blanca	2010	80	561	599	1144	768
Bahía Blanca	2011	116	820	688	1320	943
Bahía Blanca	2012	177	1145	1034	1691	1290
Cabildo	2006	89	552	658	1058	756
Cabildo	2007	65	134	147	310	197
Cabildo	2008	231	1765	2193	1862	1940
Cabildo	2009	199,6	1190	1246	1671	1369
Cabildo	2010	74	177	372	180	243
Cabildo	2011	82	499	567	984	683
Cabildo	2012	111	841	667	1234	914

Tabla 13. Producción de Materia Seca de *Avena sativa* cv. Cristal y precipitación acumulada en la estación de invierno (JJA) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Avena sativa</i> cv Cristal (JJA)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	121	843	956	1036	945
Bahía Blanca	2007	82	678	795	912	814
Bahía Blanca	2008	38	328	224	177	243
Bahía Blanca	2009	40	359	353	504	405
Bahía Blanca	2010	44	402	445	590	479
Bahía Blanca	2011	25	69	74	139	94
Bahía Blanca	2012	7	0	31	2	11
Cabildo	2006	76	597	645	792	678
Cabildo	2007	73	487	524	653	555
Cabildo	2008	26	90	96	183	123
Cabildo	2009	27,8	423	214	244	294
Cabildo	2010	23	64	64	133	87
Cabildo	2011	11	2	48	7	19
Cabildo	2012	35	237	434	304	325

Tabla 14. Producción de Materia Seca de *Avena sativa* cv. Cristal y precipitación acumulada en la estación de primavera (SON) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Avena sativa</i> cv Cristal (SON)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	158	1708	1355	2506	1856
Bahía Blanca	2007	174	1129	1346	2166	1547
Bahía Blanca	2008	240	2553	3001	3431	2995
Bahía Blanca	2009	121	1015	1084	2071	1390
Bahía Blanca	2010	106	835	869	1727	1144
Bahía Blanca	2011	180	1923	1462	2624	2003
Bahía Blanca	2012	197	1897	1786	2851	2178
Cabildo	2006	217	1914	2421	3066	2467
Cabildo	2007	144	1144	1363	2194	1567
Cabildo	2008	221	2340	2876	3136	2784
Cabildo	2009	109,7	2052	992	979	1341
Cabildo	2010	96	538	1452	813	935
Cabildo	2011	112	858	1740	929	1176
Cabildo	2012	143	1042	1185	2055	1427

Tabla 15. Producción de Materia Seca de *Eragrostis curvula* cv. Tanganyika y precipitación acumulada en la estación de verano (DEF) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Eragrostis curvula</i> cv. Tanganyika (DEF)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	148	735	836	1450	900
Bahía Blanca	2007	226	1602	2187	2145	1978
Bahía Blanca	2008	217	1718	1665	1987	1790
Bahía Blanca	2009	133	690	747	1399	900
Bahía Blanca	2010	111	569	679	1092	780
Bahía Blanca	2011	190	1183	1159	1654	1332
Bahía Blanca	2012	239	2432	2050	2109	2197
Cabildo	2006	142	818	874	1669	900
Cabildo	2007	244	2213	2516	2567	2432
Cabildo	2008	185	1092	867	1602	1107
Cabildo	2009	173,7	905	1079	1736	1340
Cabildo	2010	122	594	1229	619	814
Cabildo	2011	228	2152	1947	2321	2140
Cabildo	2012	130	642	650	1345	879

Tabla 16. Producción de Materia Seca de *Eragrostis curvula* cv. Tanganyika y precipitación acumulada en la estación de otoño (MAM) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Eragrostis curvula</i> cv. Tanganyika (MAM)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	79	454	492	921	623
Bahía Blanca	2007	47	493	945	587	675
Bahía Blanca	2008	246	1378	1410	1860	1549
Bahía Blanca	2009	164	819	1043	1503	1122
Bahía Blanca	2010	80	477	446	911	612
Bahía Blanca	2011	116	646	542	1039	742
Bahía Blanca	2012	177	892	1231	1542	1222
Cabildo	2006	89	551	657	1057	755
Cabildo	2007	65	458	477	948	628
Cabildo	2008	231	1224	2196	1609	1676
Cabildo	2009	200	776	967	1446	1063
Cabildo	2010	74	478	485	1003	655
Cabildo	2011	82	986	569	500	685
Cabildo	2012	111	480	605	888	658

Tabla 17. Producción de Materia Seca de *Eragrostis curvula* cv. Tanganyika y precipitación acumulada en la estación de primavera (SON) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Eragrostis curvula</i> cv. Tanganyika (SON)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	158	1300	1638	2404	1545
Bahía Blanca	2007	174	1373	1636	2633	1881
Bahía Blanca	2008	240	2656	2130	3969	2789
Bahía Blanca	2009	121	1337	1251	2554	1714
Bahía Blanca	2010	106	1129	1175	2335	1546,6
Bahía Blanca	2011	180	1887	2404	3464	2114
Bahía Blanca	2012	197	1733	1923	3465	2373,6
Cabildo	2006	217	1875	2337	3492	2568
Cabildo	2007	144	2377	1477	1240	1598
Cabildo	2008	221	1925	2531	3454	2914
Cabildo	2009	109,7	1146	1162	2402	1570,1
Cabildo	2010	96	1082	1289	2075	1652
Cabildo	2011	112	1418	1311	2657	1695
Cabildo	2012	143	1462	1286	2537	1762

Tabla 18. Producción de Materia Seca de *Thinopyrum ponticum* cv. Tobiano INTA y precipitación acumulada en la estación de verano (DEF) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Thinopyrum ponticum</i> cv. Tobiano INTA (DEF)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	148	786	492	744	674
Bahía Blanca	2007	226	1106	1257	905	1089
Bahía Blanca	2008	217	847	944	1002	931
Bahía Blanca	2009	133	238	264	476	326
Bahía Blanca	2010	111	109	124	193	142
Bahía Blanca	2011	190	675	694	918	762
Bahía Blanca	2012	239	1131	1367	1105	1201
Cabildo	2006	142	601	678	654	644
Cabildo	2007	244	1290	1202	1093	1195
Cabildo	2008	185	767	897	1060	908
Cabildo	2009	173,7	580	801	1004	795
Cabildo	2010	122	197	157	288	214
Cabildo	2011	228	995	1194	1243	1144
Cabildo	2012	130	122	145	234	167

Tabla 19. Producción de Materia Seca de *Thinopyrum ponticum* cv. Tobiano INTA y precipitación acumulada en la estación de otoño (MAM) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Thinopyrum ponticum</i> cv. Tobiano INTA (MAM)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	79	276	306	552	378
Bahía Blanca	2007	47	142	177	293	204
Bahía Blanca	2008	246	1290	1432	1847	1523
Bahía Blanca	2009	164	944	847	1212	1001
Bahía Blanca	2010	80	761	965	752	826
Bahía Blanca	2011	116	639	797	1191	876
Bahía Blanca	2012	177	1106	1672	1257	1345
Cabildo	2006	89	667	801	1274	914
Cabildo	2007	65	144	181	266	197
Cabildo	2008	231	1367	1131	1738	1412
Cabildo	2009	199,6	1194	995	1582	1257
Cabildo	2010	74	207	246	396	283
Cabildo	2011	82	593	786	1057	812
Cabildo	2012	111	721	837	1403	987

Tabla 20. Producción de Materia Seca de *Thinopyrum ponticum* cv. Tobiano INTA y precipitación acumulada en la estación de invierno (JJA) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Thinopyrum ponticum</i> cv. Tobiano INTA (JJA)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	121	997	904	1171	1024
Bahía Blanca	2007	82	1041	689	706	812
Bahía Blanca	2008	38	341	355	705	467
Bahía Blanca	2009	40	329	334	690	451
Bahía Blanca	2010	44	373	404	756	511
Bahía Blanca	2011	25	156	167	319	214
Bahía Blanca	2012	7	26	30	52	36
Cabildo	2006	76	578	589	864	677
Cabildo	2007	73	678	702	834	738
Cabildo	2008	26	152	181	291	208
Cabildo	2009	27,8	405	318	584	436
Cabildo	2010	23	138	153	276	189
Cabildo	2011	11	33	61	41	45
Cabildo	2012	35	284	373	510	389

Tabla 21. Producción de Materia Seca de *Thinopyrum ponticum* cv. Tobiano INTA y precipitación acumulada en la estación de primavera (SON) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Thinopyrum ponticum</i> cv. Tobiano INTA (SON)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	158	1334	2243	1907	1828
Bahía Blanca	2007	174	1543	2542	1867	1984
Bahía Blanca	2008	240	1886	1751	3274	2303
Bahía Blanca	2009	121	1121	1423	2064	1536
Bahía Blanca	2010	106	763	826	1547	1045
Bahía Blanca	2011	180	1133	1211	2312	1552
Bahía Blanca	2012	197	1083	1231	2136	1484
Cabildo	2006	217	1366	1628	2619	1871
Cabildo	2007	144	1153	1453	2132	1579
Cabildo	2008	221	1941	1782	2970	2231
Cabildo	2009	109,7	901	1654	1148	1234
Cabildo	2010	96	667	745	1330	914
Cabildo	2011	112	1174	942	1754	1290
Cabildo	2012	143	997	1311	1789	1366

Tabla 22. Producción de Materia Seca de *Stipa tenuissima* y precipitación acumulada en la estación de verano (DEF) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Stipa tenuissima</i> (DEF)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	148	91	37	247	125
Bahía Blanca	2007	226	149	177	286	204
Bahía Blanca	2008	217	118	123	245	162
Bahía Blanca	2009	133	45	46	93	61
Bahía Blanca	2010	111	19	21	38	26
Bahía Blanca	2011	190	265	139	130	178
Bahía Blanca	2012	239	268	154	136	186
Cabildo	2006	142	67	80	129	92
Cabildo	2007	244	150	190	278	206
Cabildo	2008	185	111	132	213	152
Cabildo	2009	173,7	123	157	227	169
Cabildo	2010	122	49	54	98	67
Cabildo	2011	228	164	204	305	224
Cabildo	2012	130	84	64	115	88

Tabla 23. Producción de Materia Seca de *Stipa tenuissima* y precipitación acumulada en la estación de otoño (MAM) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Stipa tenuissima</i> (MAM)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	79	132	116	295	181
Bahía Blanca	2007	47	29	15	18	21
Bahía Blanca	2008	246	334	347	690	457
Bahía Blanca	2009	164	253	256	529	346
Bahía Blanca	2010	80	140	130	263	177
Bahía Blanca	2011	116	239	224	456	306
Bahía Blanca	2012	177	293	334	579	402
Cabildo	2006	89	156	186	300	214
Cabildo	2007	65	33	41	61	45
Cabildo	2008	231	291	346	557	398
Cabildo	2009	199,6	323	411	592	442
Cabildo	2010	74	91	181	100	124
Cabildo	2011	82	169	314	210	231
Cabildo	2012	111	180	236	323	246

Tabla 24. Producción de Materia Seca de *Stipa tenuissima* y precipitación acumulada en la estación de invierno (JJA) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Stipa tenuissima</i> (JJA)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	121	130	165	239	178
Bahía Blanca	2007	82	147	123	237	169
Bahía Blanca	2008	38	28	29	57	38
Bahía Blanca	2009	40	45	33	57	45
Bahía Blanca	2010	44	24	26	48	32
Bahía Blanca	2011	25	21	11	10	14
Bahía Blanca	2012	7	5	10	6	7
Cabildo	2006	76	82	97	157	112
Cabildo	2007	73	104	131	192	142
Cabildo	2008	26	9	11	18	13
Cabildo	2009	27,8	25	32	46	34
Cabildo	2010	23	14	12	25	17
Cabildo	2011	11	11	9	16	12
Cabildo	2012	35	23	41	30	31

Tabla 25. Producción de Materia Seca de *Stipa tenuissima* y precipitación acumulada en la estación de primavera (SON) para los sitios Bahía Blanca y Cabildo (Ciclos 2006-2012).

<i>Stipa tenuissima</i> (SON)			Producción de MS (Kg. MS ha ⁻¹)			
Sitio	Año	mm/ Estacion	1	2	3	Media
Bahía Blanca	2006	158	876	1045	1678	1199
Bahía Blanca	2007	174	1168	980	1880	1343
Bahía Blanca	2008	240	1064	1107	2200	1457
Bahía Blanca	2009	121	667	676	1398	914
Bahía Blanca	2010	380	106	412	771	521
Bahía Blanca	2011	180	689	737	1407	944
Bahía Blanca	2012	197	848	746	1472	1022
Cabildo	2006	217	961	1145	1843	1316
Cabildo	2007	144	666	839	1231	912
Cabildo	2008	221	918	1094	1760	1257
Cabildo	2009	406	110	517	745	556
Cabildo	2010	315	96	350	631	432
Cabildo	2011	112	461	575	860	632
Cabildo	2012	143	993	755	1354	1034