



## Consecuencias de cambios en las variables de temperatura y precipitación para una pequeña comunidad agrícola de la región de Coquimbo, Chile

CONSEQUENCES OF CHANGES IN TEMPERATURE AND PRECIPITATION FOR A SMALL FARMING COMMUNITY IN THE COQUIMBO REGION, CHILE

***Ljubisa Milovic H.***

Universidad de Valparaíso; Valparaíso, Chile.  
E-mail: milovic.ljubisa@gmail.com

***Rosa Zamora A.***

Academia de Humanismo Cristiano, Santiago, Chile.  
E-mail: zamora.rosa@gmail.com

***Fernando Santibáñez***

Facultad de Agronomía, Universidad de Chile; Santiago, Chile.  
E-mail: fsantiba@uchile.cl

### Resumen

Debido a que una de las principales actividades que sustentan la economía en países en desarrollo es la agricultura, conocer la relación que existe entre las ciencias atmosféricas y el desarrollo de cultivos se hace relevante a la hora de evaluar el impacto que puede tener un cambio en las variables meteorológicas sobre la economía de pequeñas comunidades agrícolas. En la IV Región de Chile, asociado a su clima semiárido, cualquier cambio en las variables climáticas pone en riesgo la producción agrícola, sobre todo en suelos ya erosionados, donde un cambio en la intensidad de las lluvias hace más vulnerables a los cultivos, poniendo en riesgo la calidad de vida de las personas que basan su economía en una agricultura de secano. El presente trabajo evalúa las consecuencias de un cambio en la precipitación y la temperatura sobre la producción de forraje por las praderas naturales de la región árida del país. Para esto se usó el modelo agroclimático SIMPRAD junto a un escenario actual (sin cambios) y 2 escenarios de posible cambio climático simulando el comportamiento de las praderas naturales en cinco localidades ubicadas en la IV Región. Los resultados indican que a lo largo del siglo XX, la productividad de estas praderas presenta la misma tendencia que la precipitación mostró en trabajos previos y que frente a un aumento de la temperatura y disminución de la precipitación, los pastizales presentarían una disminución importante en su productividad en la mayor parte de los años. A partir de los resultados, se estimaron algunos de los impactos económicos que tendría

la disminución de la producción de pastizales para pequeñas comunidades agrícolas de secano. Los resultados muestran la dependencia entre el clima, los cultivos de secano y la sustentabilidad ambiental de los sistemas sociales que viven de la agricultura.

*Palabras clave: Cambio climático, modelo agroclimático, precipitación, comunidades agrícolas*

## Abstract

Due to the fact that Agriculture is the main source of income to sustain the economy of the agricultural communities in the Coquimbo region, it is important to establish in what extent a change of climatic regime, mainly precipitation, may affect agricultural productivity, carrying capacity and income of rural population. This requires an effort to integrate atmospheric sciences, biological and social sciences. Due to the extreme fragility of the agricultural systems, in the Coquimbo Region, an arid zone, any change in the climatic scenario, may put the agriculture production at risk. Also, soil may be degraded if precipitation become more intense, deteriorating the life quality of rural communities, whose economy is based on goat rise and dry farming practices. This study was conducted in a rural community (Alcones) where goat rise is almost the only economic activity. A simulation grassland model (SIMPRAD) was used to evaluate the impact of rain variability, on forage productivity and carrying capacity of the grasslands. The study came to the conclusion that throughout the XX century, grassland productivity showed a negative trend in response to declining precipitation and increasing evapotranspiration. This led to a continuous marginalization of rural communities, reducing the income of people pushing poverty to increase. Projected scenarios for the XXI century, suggest that this could deepen the crisis due to a dramatic reduction of carrying capacity of natural grasslands which will force a reduction in the number of animal by surface, reducing the income generation by local communities.

*Keywords: Climate change, agroclimatic models, precipitation, agricultural communities*

## Introducción

El cambio climático es un problema de escala global que afecta de distinta manera a diferentes partes del planeta. Chile es considerado un país vulnerable frente a estos cambios, sobre todo sus zonas áridas y semiáridas. En estas áreas, se proyecta una intensificación de la aridez y disminución de la precipitación, junto con un aumento en su variabilidad, lo que tendría consecuencias directas principalmente en sectores socialmente vulnerables, como lo son las pequeñas comunidades agrícolas que se sustentan a partir de cultivos de secano.

Antes de cualquier análisis de las distintas variables físicas y socio-económicas, se debe tener en consideración qué se entiende por cambio climático. De acuerdo al Panel Intergubernamental para el Cambio Climático en su cuarto informe (IPCC, 2007), éste sería la

variación estadísticamente significativa de las condiciones climáticas medias o de su variabilidad durante un período prolongado de tiempo (generalmente decenios o más). Este cambio puede deberse a procesos naturales internos, fuerzas externas o a cambios antropogénicos duraderos y acumulativos en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra (IPCC, 2007).

En este informe se confirma el aumento de la temperatura media global en  $0,74^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,18^{\circ}\text{C}$ ) entre 1906 y el 2005. Además de cambios en las temperaturas extremas en regiones de latitudes medias, y el aumento de eventos extremos de precipitación en varias partes del mundo. Dentro de un contexto más regional, algunos cambios que se han observado en el país, muestran que para el norte y centro de Chile (entre los  $17^{\circ}$  y  $37^{\circ}$  de latitud Sur) y considerando el pe-

riodo 1979-2006, existe una disminución de las temperaturas fuera de las costas de 0,2°C por década y un aumento en el valle central y los Andes occidental de 0,25°C por década (Falvey & Garreaud, 2009). En el caso de la temperaturas extremas en la zona norte del país, se ha observado un aumento de las temperaturas mínimas (Villaruel et al., 2006).

Por otra parte las precipitaciones muestran una disminución de aproximadamente 30%, en la zona norte durante el siglo pasado, además de un aumento de los eventos extremos de precipitación en la Región de Coquimbo. Esta tendencia fue más acentuada en los últimos 35 años del siglo pasado, lo que tendría como consecuencia, junto a otros factores, un aumento de la degradación y erosión de los suelos (Milovic & Zamora, 2005).

Resulta también importante hacer proyecciones sobre cómo estas variables van a comportarse en el futuro. Para esto se utilizan modelos climáticos que se basan en escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>x</sub>), los que proyectan las variaciones que los cambios en la concentración de estos gases en la atmósfera poseen sobre la conducta de esta, particularmente lo que dice relación con el balance térmico de la misma. Las proyecciones hechas por los modelos globales y regionales se utilizan para modelar el efecto que los cambios del escenario climático podrían tener sobre las actividades antrópicas (IPCC, 2001). Del uso de los modelos climáticos se han obtenido proyecciones de temperatura, entregando como resultado un calentamiento en todas las regiones. Este cambio, en el escenario más desfavorable, varía entre 2°C y 4°C. Las temperaturas extremas diarias presentarían un patrón similar al de la temperatura media. En cuanto a la precipitación, en Coquimbo se

proyecta una disminución global de los montos pluviométricos, que extiende su dominio bajo el escenario más desfavorable, abarcando toda la faja del territorio chileno entre los 20°LS y 33°LS, pero en invierno afecta sólo a la región andina con un posible incremento en la cordillera norte de la región (Fuenzalida et al., 2006).

Se debe considerar además, que las fluctuaciones climáticas afectan significativamente a las zonas áridas y semiáridas dificultando el desarrollo de la agricultura en extensas áreas de producción agrícola (Santibáñez, 1997). Estas variaciones del clima (en precipitación y temperatura) están fuertemente ligadas al desarrollo agrícola, siendo mucho más vulnerables los cultivos de secano, que dependen exclusivamente de estas variables, como lo son los pastizales naturales. Los cambios en el régimen de precipitaciones pueden inducir variaciones tanto en los rendimientos como en la estacionalidad de los cultivos y las praderas, reduciendo la capacidad de carga de los pastizales, deteriorando con ello las posibilidades de ingreso económico y la autonomía alimentaria de las pequeñas comunidades agrícolas (Downing, 1998).

Este artículo tiene como objetivo estudiar el comportamiento de la productividad de los pastizales durante el siglo pasado y sus proyecciones futuras, a partir de dos posibles escenarios de cambio climático en la IV Región. Además, proyecta los impactos económicos de una posible reducción en la capacidad de carga de los pastizales y lo que ello podría representar para las pequeñas comunidades agrícolas que dependen fuertemente de las condiciones climáticas imperantes para sus actividades económicas.

## Antecedentes generales de la Región de Coquimbo

La zona donde se concentra este estudio es la Región de Coquimbo, ubicada entre los 29°02'LS y 32°16'LS y desde los 69°49' LW hasta el Océano Pacífico. Para evaluar los impactos en las pequeñas comunidades se utilizó la comunidad agrícola de Alcones, ubicada en la Comuna de Ovalle, Provincia de Limarí, Región de Coquimbo, localizada en el cuadrante 30°43'LS, 71°29' LW, 30°51'LS y 71°36' LW.

Los principales factores que influyen el clima regional corresponden a: 1) la presencia del Anticiclón del Pacífico Sur que bloquea el paso de los sistemas frontales a la región, 2) la corriente fría de Humboldt y 3) la compleja topografía con valles transversales y una cordillera que puede alcanzar en ciertos lugares gran

altura, llegando incluso a superar los 4.500 msnm. La región se caracteriza por presentar un clima mediterráneo árido a semiárido con precipitaciones escasas, que van desde los 50 mm/año en el norte, hasta los 250 mm/año en el extremo sur. La precipitación presenta una extrema variabilidad interanual, que va de los 6 mm/año, hasta algo más de 400 mm/año en la ciudad de La Serena. La distribución estacional es igualmente variable, presentando un período seco de 9 a 11 meses y precipitaciones invernales concentradas entre junio y agosto. La variabilidad de la precipitación en gran medida está asociada con el fenómeno ENOS que, en su fase cálida, produce con frecuencia incrementos notables en las precipitaciones, así como en las fases frías, tienden a producirse sequías extremas (IGM, 1985).

## Metodología

Se utilizaron series de tiempo de precipitación y temperatura mensual desde el año 1930 al año 2000 como entrada para el modelo agroclimático SIMPRAD (Santibáñez, 1998). Con este modelo se estimaron las producciones de pastizales, a partir de escenarios climáticos. Los escenarios de cambio climático futuro y de clima actual, utilizados fueron los obtenidos de un estudio anterior, donde el Escenario 1 y 2 corresponden a una disminución en precipitación entre 20% y un 40%, respectivamente, ambos usando el incremento de la temperatura (aumento) y el escenario actual con las tendencias de estas variables entre los años 1930 al 2000 (Milovic & Zamora, 2005).

El modelo SIMPRAD requiere de la creación de archivos que contengan la precipitación sepa-

rada en semanas. Se usó el programa ALEAT6 para distribuir aleatoriamente la precipitación mensual en las semanas del mes, el que utiliza las precipitaciones mensuales y la cantidad de semanas con lluvia por mes como archivos de entrada, haciendo una generación estocástica de la precipitación diaria. El modelo SIMPRAD genera como salida la producción de la pradera natural y capacidad de carga animal para distintas localidades dentro del período simulado (Tabla 1). Luego, se simuló la producción de la pradera natural en escenarios de posible cambio climático (escenario 1 y 2). Ambos escenarios se compararon con la producción actual de pradera para establecer los cambios de productividad de los pastizales al cambio en el escenario de precipitación y temperatura.

Dado que bajo los distintos escenarios la producción de pradera natural varía, se utilizaron estas diferencias para calcular su influencia en la economía de pequeñas comunidades agrícolas, en términos de su productividad de pradera natural y su impacto en la capacidad de carga animal (hectáreas necesarias para alimentar un animal). Para representar estos efectos en una pequeña comunidad agrícola, se utilizó como dato la cantidad de cabras existentes en la comunidad de Alcones. Mediante relaciones entre la capacidad de carga animal en el escenario actual y los dos escenarios proyectados, se obtuvieron los factores que indican cuál sería la disminución de animales bajo variaciones climáticas y, a partir de esto,

las variaciones en la producción de quesos de leche de cabra y de cabritos machos y cabras de baja producción lechera. Se utilizaron los datos de producción de leche de cabra al año, los kilogramos de queso por litro de leche y la cantidad de cabras vendibles por cada 100 caprinos, dado los siguientes datos:

- Número de habitantes: 141 personas separadas en 35 familias
- Número de caprinos: 2280 cabras
- Número de cabras lecheras: 798 cabras
- Número de cabras vendibles (machos y hembras de baja producción de lechera): 1482 cabras.

## Resultados

Con respecto a la producción de pradera natural (Figura 1), se observó que en todas las localidades de estudio, ésta disminuye a lo largo de los años, en respuesta a la menor precipitación, sin embargo su comportamiento no es siempre proporcional al agua caída, ya que se observan algunos años donde una lluvia abundante no provoca un aumento en

la productividad de las praderas, como por ejemplo los años 1987 y 1997. Durante estos años en Combarbalá, la precipitación media anual supera por más del doble a la media del período, mientras la productividad de pastizales no presenta valores superiores al resto de los años. Esto se debe a que una gran caída pluviométrica, mal distribuida dentro del año,

Tabla 1

Ubicación, altura y cantidad de años para las estaciones meteorológicas de la zona de estudio.

Estaciones	Ubicación	Altura (m)	Años
La Serena	20°90'LS - 71°25'LO	32	1930 - 2000
Vicuña	30°03'LS - 70°73'LO	610	1930 - 2000
Ovalle	30°60'LS - 71°20'LO	220	1930 - 2000*
Combarbalá	31°18'LS - 71°03'LO	904	1930 - 2000
Illapel	31°60'LS - 71°18'LO	310	1930 - 2000

\*Ovalle no presenta datos entre los años 1972 y 1980.

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

no surte efectos positivos sobre la productividad de los pastos. Por el contrario, en ciertos años aparentemente lluviosos, se registran producciones más bajas que años en donde la precipitación es mucho menor pero mejor distribuida. También se puede observar una tendencia negativa de la pradera natural en todas las localidades, con disminuciones anuales de 1.171 kg/ha, 1.050 kg/ha, 885 kg/ha, 1.176 kg/ha y 1.159 kg/ha para La Serena, Vicuña, Ovalle, Combarbalá e Illapel, respectivamente.

La Figura 2 muestra que si disminuyen las precipitaciones, entonces la productividad de la pradera natural, será menor que en el escenario actual en la mayoría de los casos. Para las localidades de La Serena y Vicuña se observó una disminución en torno al 80% bajo ambos escenarios. En el resto de las localidades esta disminución es menor, para ambos escenarios, fluctuando entre el 50% y 73% de años con

producción menor que en el escenario actual (Tabla 2). Para la capacidad de carga animal en las cinco localidades de la Región (ver Figura 3), se muestra que al haber una disminución, en la precipitación disminuye también la probabilidad de alimentar animales. Si en el escenario actual se necesitan poco más de 20 ha para alimentar 1 unidad animal (u.a.), en el escenario 1 y 2 se necesitan unas 4 a 5 ha más para la misma u.a. En La Serena se necesitan 21,3 ha para alimentar a un animal. Si la precipitación disminuye un 40% se necesitarían unas 3,0 ha más para alimentar al mismo animal, ocurre lo mismo en Vicuña y Ovalle. En Illapel y Combarbalá una disminución en la precipitación afecta en menor medida la capacidad de carga.

Las Tablas 3, 4 y 5 muestran el impacto económico que sufriría la comunidad agrícola de Alcones con respecto a la venta de cabritos y

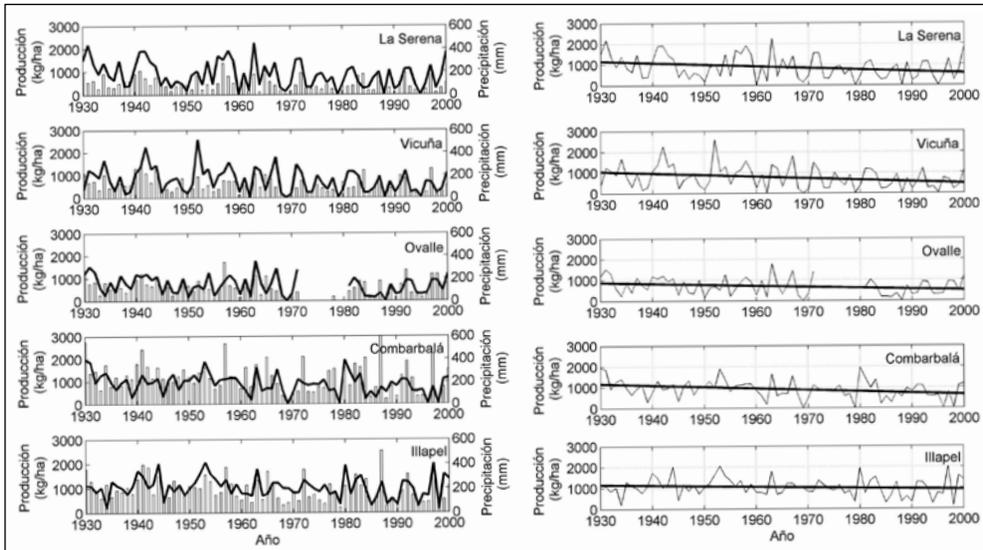


Figura 1. Series de tiempo de precipitación y producción de pradera natural. panel (b). tendencia de producción de pradera natural.

quesos de cabra bajo los distintos escenarios climáticos.

Como se puede observar, el número de cabras disminuiría bajo los dos escenarios de cambio climático, por lo tanto la producción de quesos

de cabra también sería menor. Los ingresos de dinero por la venta de cabritos y quesos serían un 33% menor en el Escenario 1 y un 44% menos bajo el Escenario 2, con respecto a los valores actuales.

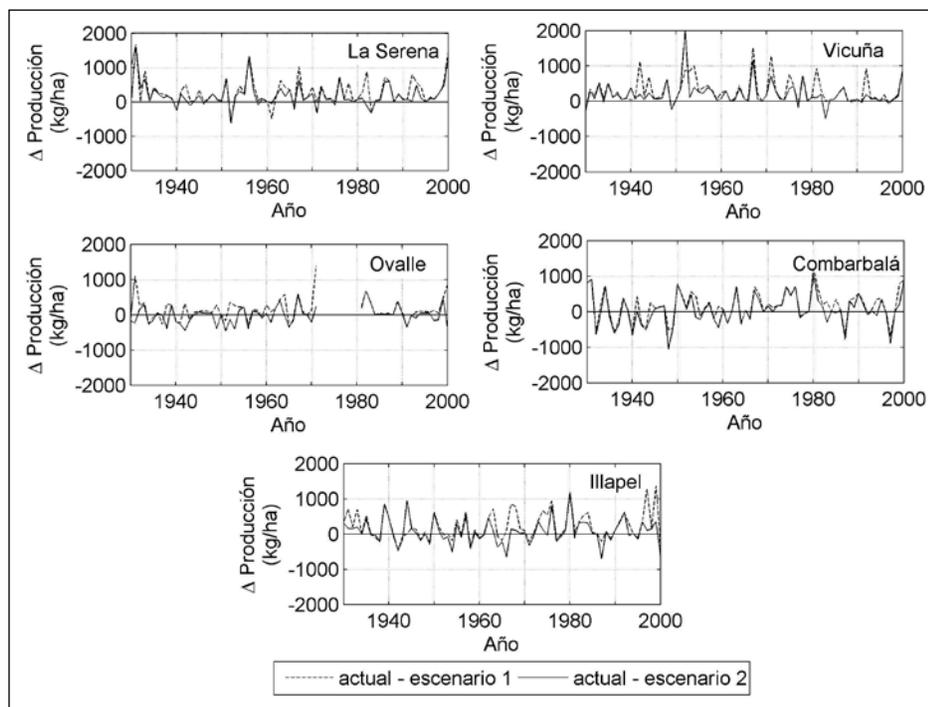


Figura 2. Diferencia entre el escenario actual y los escenarios 1 y 2 para producción de pradera natural.

Tabla 2

Porcentaje de años en que la producción de pradera natural bajo escenario 1 y 2 fue menor con respecto al escenario actual.

	Escenario 1 (%)	Escenario 2 (%)
La Serena	79	86
Vicuña	82	85
Ovalle	50	73
Combarbalá	58	68
Illapel	56	56

Fuente: Elaboración propia.

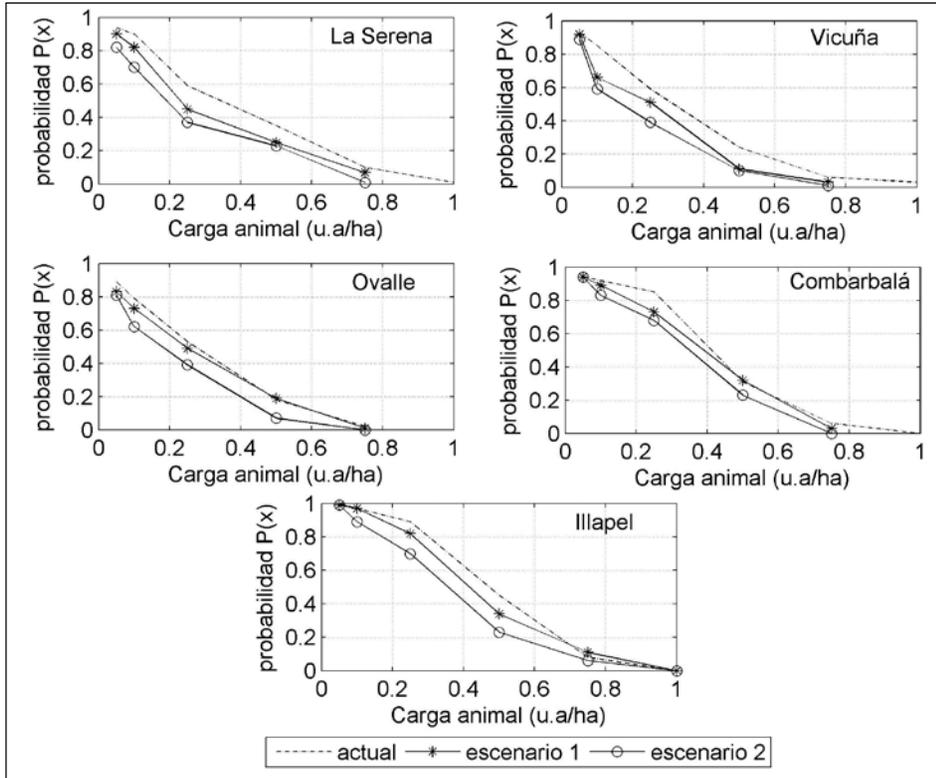


Figura 3. Capacidad de carga animal bajo escenario actual, escenario 1 y escenario 2.

Tabla 3  
Escenario climático y cantidad de animales en la Comunidad Agrícola de Alcones.

Escenario	N° de cabras	N° Cabras vendibles	N° cabras lecheras
Actual	2.432	1.581	851
E.1	1.629	1.059	570
E.2	1.316	885	476

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4  
Escenario climático y cantidad de producción de leche y queso de cabra al año en la Comunidad Agrícola de Alcones.

Escenario	Leche (l/año)	Queso (kg/año)
Actual	110.630	15.804
E.1	74.100	10.586
E.2	61.800	8.840

Fuente: Elaboración propia.

## Discusión

### Relación entre los cambios de la precipitación y la productividad del secano

La precipitación ha disminuido a lo largo del siglo XX y bajo condiciones de posible cambio climático este comportamiento se mantendría en las próximas décadas (Milovic & Zamora, 2005). Para las praderas naturales, según el modelo agroclimático SIMPRAD, la disminución que ha sufrido la precipitación durante el siglo XX ha tenido como efecto una disminución en la producción de pradera natural. Junto con esto, años donde las precipitaciones anuales estuvieron por sobre la media pero fueron altamente concentradas en un período del año, no provoca un aumento en la productividad de la pradera y en muchos de estos casos fue menor. Esto se puede deber a que cuando existe una alta concentración de precipitaciones la pradera no puede aprovechar toda el agua que está en el suelo, esto se explica porque la raíz no tiene un tamaño suficiente (30 cm), lo que disminuye su capacidad de absorber mejor el agua, en comparación a otros cultivos. Por las razones anteriores, no sólo las variaciones en la cantidad de lluvia afectan a la productividad de los pastizales, sino también la distribución estacional y la intensidad de las precipitaciones juega un rol importante.

### Proyecciones del clima y sus consecuencias

Al utilizar dos escenarios de posible cambio en precipitación y temperatura, se observó que en ambos escenarios hay una disminución en la producción de la pradera natural. Esto se explica porque la disminución del agua necesaria para el crecimiento del cultivo impide su normal desarrollo. Así también al aumentar la temperatura hay mayor evapotranspiración, por lo que los pastos y los cultivos se verían aún más perjudicados. En el caso de las praderas, se observa que en algunos años al disminuir la precipitación y ascender la temperatura la productividad aumenta, lo que puede ser consecuencia de que si disminuye la precipitación en años que anteriormente presentaron alta pluviosidad, se podría alcanzar el nivel óptimo para el crecimiento del cultivo, al disminuir los excesos temporales de agua en el suelo.

Al resultar de estos escenarios una disminución de la productividad de las praderas naturales, la producción caprina se vio igualmente perjudicada, debido a una disminución de capacidad de la carga animal. Esto debido a que habría una menor cantidad de forraje para la alimentación de los animales. Al disminuir la cantidad de forraje el número de animales se-

**Tabla 5**  
**Ingreso en pesos chilenos por venta de quesos de cabra y cabritos al año, para la Comunidad Agrícola de Alcones.**

Escenario	Venta de cabritos (\$)	Venta de quesos (\$)
Actual	26.887.000	39.510.000
E.1	18.003.000	26.465.000
E.2	15.045.000	22.100.000

Fuente: Elaboración propia.

ría menor. Mientras más al norte de la región estén ubicadas las localidades, menor será la probabilidad de alimentar animales.

Con respecto a los impactos económicos que puede significar una disminución en la precipitación y aumento de la temperatura, para una comunidad agrícola de secano, este impacto sería negativo, ya que al disminuir la cantidad

de agua caída el cultivo que dependa de este recurso tendrá menos posibilidades de hacerlo, afectando negativamente su rendimiento y provocando una caída en la capacidad de carga animal de los terrenos de pastoreo. Ello reduciría la producción de queso, principal fuente de ingresos de las comunidades.

## Conclusiones

Las proyecciones de escenarios de cambio climático para las regiones de clima mediterráneo árido de Chile, señalan que durante el siglo XXI podría continuar la tendencia decreciente de las precipitaciones. Los pastizales naturales, principal fuente de sustento económico de las comunidades agrícolas de la región, son altamente vulnerables tanto a las variaciones interanuales, como a las variaciones de largo plazo que exhiben las precipitaciones.

Si se cumplen las proyecciones de cambio climático que hacen los modelos globales y regionales para esta zona, podría tener un fuerte impacto económico reduciendo los ingresos de las comunidades, lo que originaría una fuerte marginalización de las comunidades agrícolas, proceso que en cierta medida ha venido ocurriendo dentro del siglo XX.

## Bibliografía

- Downing, T. (1998). Climate Change and Sustainable Development in the Norte Chico, Chile: Climate, resources of water and agriculture, 57 pp.
- Falvey, M. & R. Garreaud. (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979-2006). *Journal of Geophysical Research*, 114: 1-16.
- Fuenzalida, H., M. Falvey, M. Rojas, P. Aceituno & R. Garreaud. (2006). Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe para CONAMA. 71 pp.
- IPCC, (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden & D. Xiaosu (Eds.)] Cambridge University Press, UK. 944 pp.
- 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. (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller,

Consecuencias de cambios en las variables de temperatura y precipitación  
Milovic, Zamora y Santibáñez

- eds.). Cambridge University Press, Cambridge y Nueva York.
- Instituto Geográfico Militar (1984), Geografía de Chile, Geografía de los suelos. Santiago, Chile, Vol. 5, 180 pp.
- Milovic & Zamora (2005). Evaluación de los posibles impactos en el secano de la IV Región bajo escenarios de posible cambio climático. Tesis Meteorología. Facultad de Ciencias. Universidad de Valparaíso, Chile. 92 pp.
- Santibáñez, F. (1998). Simulador de la productividad de cultivos (SIMPROC). Revista de Agrometeorología, Argentina. 25 pp.
- Villarroel, Claudia et al. (2006) Climate Change along the extratropical west coast of South America (Chile): Daily Max/Min Temperature. Foz do Iguçu, Brazil, April 24-28, 2006. INPE, p. 487-489.

Fecha de recepción: 15 de abril del 2013

Fecha de aceptación: 15 de julio del 2013

