agronomía&ambiente
Revista de la Facultad de Agronomía UBA
45 (1)

TEMPERATURAS EXTREMAS Y PRECIPITACIÓN: TENDENCIAS FUTURAS E IMPACTO EN LA PROVINCIA DE JUJUY, ARGENTINA

Fabio David Alabar[1]*, Silvana Yanina Tejerina[2], Juan Manuel Solís[3] y Rafael Horacio Hurtado[1]

[1] Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra de Agroclimatología

[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Instituto de Ecorregiones Andinas (INECOA), Jujuy, Argentina

[3] Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Ciencias Agrarias, Cátedra de Bioestadísticas y Diseño Experimental

* E-mail: davidalabar@fca.unju.edu.ar

Recibido: 06/02/2025
Aceptado: 05/06/2025

RESUMEN

Estudiar y cuantificar las tendencias futuras de las temperaturas extremas y de la precipitación permitiría comprender los cambios en las condiciones climáticas experimentadas en los últimos años en Jujuy (Argentina) y plantear posibles implicancias sobre los recursos de la provincia, como la biodiversidad, la ganadería y la agricultura. Los objetivos de este trabajo fueron: (i) caracterizar las temperaturas máximas (Tmáx) y mínimas (Tmín) anuales y la precipitación anual (Prec) bajo dos escenarios de cambio climático; (ii) validar la información climática de la base de datos WorldClim; y (iii) analizar el impacto de las condiciones climáticas cambiantes sobre los principales recursos productivos (*i.e.* ovinos y caña de azúcar) y naturales (*i.e.* biodiversidad) de la provincia de Jujuy. Se utilizaron capas ráster(s) anuales de Tmáx, Tmín y Prec de la base de datos de WorldClim. Se consideró como período actual al promedio entre los años 1960-2021 y el proyectado al correspondiente entre los años 2081-2100 en dos escenarios de cambio climático para determinar las proyecciones futuras de Tmáx, Tmín y Prec. La provincia de Jujuy presenta condiciones actuales de Tmáx de 18,7±0,4 ºC, Tmín de 3,2±0,4 ºC y Prec de 310±51 mm. En ambos escenarios se proyectan aumentos de temperaturas (> 3,2 ºC) y precipitación (>30 mm) para el periodo 2081-2100. La tendencia de las tres variables meteorológicas analizadas sugiere que los recursos de la provincia de Jujuy podrían verse afectados en los próximos años, particularmente en la región de la Puna donde los aumentos de temperatura son más intensos.

Palabras clave: WorldClim, cambio climático, agricultura, biodiversidad, ganadería.

EXTREME TEMPERATURES AND PRECIPITATION: FUTURE TRENDS AND IMPACT IN THE PROVINCE OF JUJUY, ARGENTINA

ABSTRACT

Studying and quantifying future trends in extreme temperatures and precipitation would allow us to understand the changes in climatic conditions experienced in recent years in Jujuy (Argentina) and raise possible implications for the province's resources, such as biodiversity, livestock, and agriculture. The objectives of this work were: (i) to characterize the annual maximum (Tmax) and minimum (Tmin) temperatures and annual precipitation (Prec) under two climate change scenarios; (ii) to validate the climate information from the WorldClim database; and (iii) to analyze the impact of changing climatic conditions on the main productive (sheep and sugarcane) and natural (Biodiversity) resources of the province of Jujuy. Annual raster layers of Tmax, Tmin, and Prec from the WorldClim database were used. The current period was considered to be the average between 1960 and 2021; and the one projected to the corresponding one between the years 2081-2100 in two climate change scenarios to determine future projections of Tmáx, Tmín and Prec. The province of Jujuy presents current conditions of Tmax of 18,7±0,4 ºC, Tmin of 3,2±0,4 ºC and Prec of 310±51 mm. In both scenarios, increases in temperature (> 3,2 ºC) and precipitation (> 30 mm) are projected for the period 2081-2100. The trend of the three meteorological variables analyzed suggests that the resources of the province of Jujuy could be affected in the coming years, particularly in the Puna region where temperature increases are more intense.

Key words: WorldClim, Climate Change, Agriculture, Biodiversity, Livestock.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global es el mayor desafío ambiental que enfrenta el planeta en la actualidad y se produce como consecuencia del aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, provocadas por las actividades humanas, generando variaciones en el clima que de manera natural no se producirían (Gahlawat y Lakra, 2020). Actualmente, el mundo se encamina hacia un calentamiento global de ~2 a 3 °C para el año 2100, según estimaciones del IPCC (2023) y otros informes como los de Climate Action Tracker (CTA, 2023). En el mejor de los casos, si se implementan todos los compromisos de emisiones netas cero y las contribuciones determinadas a cada país, podría llegar justo por debajo de los 2 °C (Armstrong McKay *et al.*, 2022). Estos escenarios causarían perturbaciones climáticas sin precedentes, tales como mayor número de tormentas de mayor intensidad, lluvias más intensas seguidas de sequías más prolongadas e intensas (Trenberth, 2011; Seneviratne *et al.*, 2012; IPCC, 2021). En este contexto, existe un enorme interés social y científico por cuantificar y comprender las tendencias futuras de las variables meteorológicas.

En la región del noroeste argentino (NOA) ya se evidenciaron cambios en las condiciones climáticas. Hurtado *et al.* (2008) analizaron los registros de temperaturas máximas y mínimas de ocho localidades de las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán y Santiago del Estero para el período 1960-2007, y proyectaron un aumento de la temperatura mínima media anual que en el lapso de 100 años ascendería a 2 y 3,6 °C, con las mayores tendencias correspondientes a los meses de octubre y marzo. Por otro lado, Alabar *et al.* (2020), en un estudio sobre eventos extremos de precipitación en estaciones meteorológicas de las provincias de Jujuy y Salta, encontraron tendencias positivas en los índices "cantidad máxima de lluvia en un día en un año" y "cantidad máxima de lluvia en cinco días consecutivos en un año". Rusticucci y Barrucand (2004) ya habían identificado aumentos en la frecuencia de noches cálidas y días cálidos en el NOA desde la segunda mitad del siglo XX. Marengo *et al.* (2009) proporcionaron evidencia de tendencias climáticas en el norte argentino, incluyendo el NOA, como parte de estudios regionales sobre impactos del cambio climático en Sudamérica.

Autores pioneros en agroclimatología, como Viglizzo y Frank (2006), destacaron la importancia de integrar información meteorológica y climática en la planificación agrícola y la evaluación de vulnerabilidades. Las tendencias de las temperaturas extremas, así como las de los índices de eventos extremos de precipitación, permiten tener indicios de los cambios en las condiciones climáticas experimentadas en los últimos años en el NOA. Sin embargo, los de Hurtado *et al.* (2008) y Alabar *et al.* (2020) se realizaron en base a la ubicación geográfica de la estación meteorológica. Por lo tanto, resulta importante avanzar en el estudio de las implicancias del cambio climático en el NOA para contar con información espacial sobre los cambios futuros en las condiciones climáticas. Esta información permitirá mejorar y definir sectores donde se deberán priorizar políticas a nivel provincial de adaptación y mitigación del calentamiento global.

En la provincia de Jujuy, la ganadería, la agricultura y la biodiversidad son los pilares que sostienen su desarrollo y riqueza natural, aunque estos recursos pueden verse amenazados por las condiciones climáticas cambiantes del futuro. En Jujuy, la ganadería es mixta, extensiva y trashumante, siendo el objetivo principal la obtención de alimentos, cuero, lana y fibras como medio esencial de intercambio (Berraz *et al.*, 2020). Según el Censo Nacional Agropecuario de 2018, la principal actividad pecuaria en Jujuy es la de ovinos (39%), seguido de camélidos (llamas) (26%), caprinos (15%) y bovinos (14%) (INDEC, 2018). Los ovinos son la especie que más se explota en la Puna y podría estar sujeta a una mayor promoción por parte del gobierno provincial, con la finalidad de generar un incremento en el consumo interno de estas carnes por parte de los habitantes de Jujuy. El cambio climático es un gran desafío a nivel mundial para la producción pecuaria, ya que la seguridad alimentaria puede verse comprometida por el aumento del estrés térmico de los animales (Sánchez Mendoza *et al.*, 2020). En este contexto, diferentes índices bioclimáticos han sido utilizados para evaluar el posible impacto de las variables climáticas sobre la actividad ganadera, con el objetivo central de categorizar el grado de estrés térmico que sufren los animales criados a campo y recomendar la aplicación de estrategias ambientales para evitar el deterioro de las respuestas productivas (Theusme *et al.*, 2021).

La producción agrícola en Jujuy está representada por dos cultivos industriales, caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y tabaco (*Nicotiana tabacum* L.). El 76% de la superficie implantada en las explotaciones agropecuarias está representada por ambos cultivos, con mayor participación del cultivo de caña de azúcar (INDEC, 2018). La caña de azúcar se produce en el pedemonte

de las sierras subandinas al sudeste provincial, en los departamentos de Ledesma, San Pedro, El Carmen, Santa Bárbara y Palpalá, donde las condiciones de clima cálido, húmedo y con bajo riesgo de heladas son propicias (IPP, 2019). La creciente demanda de bioenergía, azúcar y otros subproductos hace que la caña de azúcar sea un cultivo muy importante y valioso en el mundo. Entre de las principales limitaciones a la producción y productividad de los cultivos agrícolas se encuentra la fluctuación de las variables climáticas que causan problemas ambientales como sequías, inundaciones, salinidad, intensidades extremas de radiación, enfriamiento, toxicidad de metales pesados, bajo oxígeno y alta velocidad del viento (Chohan, 2019; Verma *et al.*, 2020). En un contexto de cambio climático, las precipitaciones son cada vez menos predecibles e intensas con aumentos de la evapotranspiración debido al incremento de las temperaturas en diferentes partes del mundo (Verma *et al.*, 2020). Por lo tanto, es importante conocer las tendencias locales para mitigar sus posibles impactos sobre el rendimiento de las plantas cultivadas.

El cambio climático ha sido identificado como una de las amenazas más importantes e inmediatas para la biodiversidad (Elsen *et al.*, 2020). La biodiversidad puede definirse como la totalidad (número) y variabilidad (tipos) de organismos vivos en el ecosistema, la región y el ambiente. La biodiversidad proporciona beneficios económicos, ambientales y culturales a la humanidad (Habibullah *et al.*, 2022). En un contexto de cambio climático, los beneficios de la biodiversidad podrían verse amenazados, ya que se alteran las abundancias de las especies, se reorganizan las comunidades biológicas y se reestructuran las redes alimentarias, lo que modifica las funciones de los ecosistemas y puede generar retroalimentaciones negativas para la calidad de vida de las personas (Wudu *et al.*, 2023). La provincia de Jujuy presenta ocho áreas protegidas declaradas en el Sistema de Información de Biodiversidad (SIB) de la Administración de Parques Nacionales (SIB, 2024). Las áreas protegidas son esenciales para conservar la biodiversidad. Sin embargo, sus límites geográficos actuales podrían no ser suficientes para proteger a las especies en un contexto de cambio climático. Se espera que las especies cambien, expandan o reduzcan sus áreas de distribución, lo que provocaría una reorganización de las comunidades bióticas en grandes regiones (Elsen *et al.*, 2020).

La disponibilidad de fuentes de datos climáticos es un factor clave para analizar las condiciones climáticas a nivel espacial. La base de datos Worldclim se ha implementado ampliamente en el modelado de idoneidad del hábitat para estimar las influencias del clima en el nicho realizado de las especies y predecir posibles cambios impulsados por el cambio climático (Cerasoli *et al.*, 2022). Además, ofrece un gran potencial para caracterizar patrones climáticos a escala regional y global, apoyando aplicaciones como la planificación de conservación y la gestión de recursos naturales. La versión Worldclim 2.1 dispone de capas ráster(s) de superficies climáticas mundiales de precipitación mensual, de temperaturas máximas y mínimas medias del periodo 1960 al 2021 en tres resoluciones de cuadrícula: 2,5, 5 y 10 min de arco, correspondientes a píxeles cuyos lados miden aproximadamente 5, 10 y 20 km en el ecuador, respectivamente. Las superficies climáticas de Worldclim derivan de la interpolación de datos meteorológicos mensuales (Cerasoli *et al.*, 2022; Fergnani, 2022). Recientemente se publicó una evaluación del uso de la versión 2 de Worldclim para la Argentina y existen numerosos trabajos sobre la evaluación de WorldClim versión 1 en diferentes regiones (*e.g.* Europa) (Bustos *et al.*, 2017; Fergnani, 2022). Sin embargo, hasta el momento la performance de los datos mensuales de la base de datos de Climatic Research Unit Time-Series (CRU-TS) 4.06, ajustados con Worldclim 2.1 y disponibles en el sitio web, no fue evaluada para la provincia de Jujuy (Fick y Hijmans, 2017; Harris *et al.*, 2020).

Además, Worldclim dispone en su repositorio de 14 modelos de cambio climático en cuatro períodos proyectados (2021-20240, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100) y cuatro vías socioeconómicas compartidas (SSP, por sus siglas en inglés), información que podría ser utilizada para la caracterización climática futura (Cerasoli *et al.*, 2022). Las SSP examinan cómo la sociedad global, la demografía y la economía podrían cambiar durante el próximo siglo (Riahi *et al.*, 2017). El escenario de la vía SSP2-4.5 supone la adopción de políticas que mitiguen las emisiones de gases de efecto invernadero con un aumento de la temperatura de entre 0,3 y 1,8 °C para finales del siglo XXI (Meinshausen *et al.*, 2011; Riahi *et al.*, 2017; IPCC, 2021). El escenario SSP5-8.5 asume que en el futuro aún se tiene una muy alta dependencia de los combustibles fósiles, un bajo crecimiento poblacional, un elevado crecimiento económico y un alto desarrollo humano; por lo que representa un elevado nivel de desafío para la mitigación (Riahi *et al.*, 2017). En este escenario las emisiones seguirán aumentando produciendo un calentamiento global de entre 4,0 y 4,8 °C para finales del siglo XXI (Meinshausen *et al.*,

2011; IPCC, 2021). Los distintos escenarios de emisiones tienen como objetivo explorar posibles trayectorias consistentes con las expectativas actuales, desarrollos más inciertos que muestran trayectorias que cumplirían objetivos específicos o posibles futuros de alto impacto. No son predicciones, ya que el futuro es fundamentalmente incierto; esta incertidumbre es la razón clave para explorar múltiples escenarios (Pedersen *et al.*, 2021).

Este trabajo tuvo como objetivos: (i) analizar las condiciones climáticas actuales y futuras de las temperaturas máximas y mínimas anuales y la precipitación anual en la provincia de Jujuy, Argentina, (ii) validar la información climática de la base de datos WorldClim y (iii) analizar las tendencias de las tres variables meteorológicas bajo dos escenarios. La información generada en este trabajo puede ser utilizada para apoyar la toma de decisiones y la formulación de políticas con base científica para la sociedad y para prevenir futuros impactos del cambio climático sobre el sector agrícola y los recursos naturales.

METODOLOGÍA

La provincia de Jujuy

La provincia de Jujuy se ubica en el extremo noroeste de la Argentina entre los 21 48' y 24 36' de latitud sur. Limita con una sola provincia argentina, Salta, al sur y al este, y con Bolivia y Chile al norte y al oeste. Es un territorio de 53244 km^2 que alberga aproximadamente 608 mil habitantes (Bejarano *et al.*, 2006). Posee 16 departamentos, con centro político y administrativo en el departamento Dr. Manuel Belgrano (Figura 1). Estos departamentos presentan un relieve territorial con grandes variaciones altimétricas y diferentes fisiografías, que permiten considerar cuatro regiones geográficas: (i) Puna (comprendida por los departamentos Cochinoca, Rinconada, Santa Catalina, Susques y Yavi; presenta una altura media superior a los 3500 m s. n. m.), (ii) la Quebrada (que abarca los departamentos de Humahuaca, Tilcara y Tumbaya, cuya altitud varía desde los 600 a 700 m s. n. m. hasta los 3700 m s. n. m. en Tres Cruces), (iii) los Valles (integrado por los departamentos Dr. Manuel Belgrano, Palpalá, El Carmen y San Antonio, con una altura aproximadamente de 1200 m s. n. m.) y (iv) el Ramal (que se extiende a los departamentos de Ledesma, San Pedro, Santa Bárbara y Valle Grande, a aproximadamente 500-700 m s. n. m.) (Bejarano *et al.*, 2006) (Figura 1).

Variables meteorológicas

La información disponible en WorldClim (https://www.worldclim.org/) consiste en archivos ráster(s) mensuales que abarcan toda la superficie terrestre a

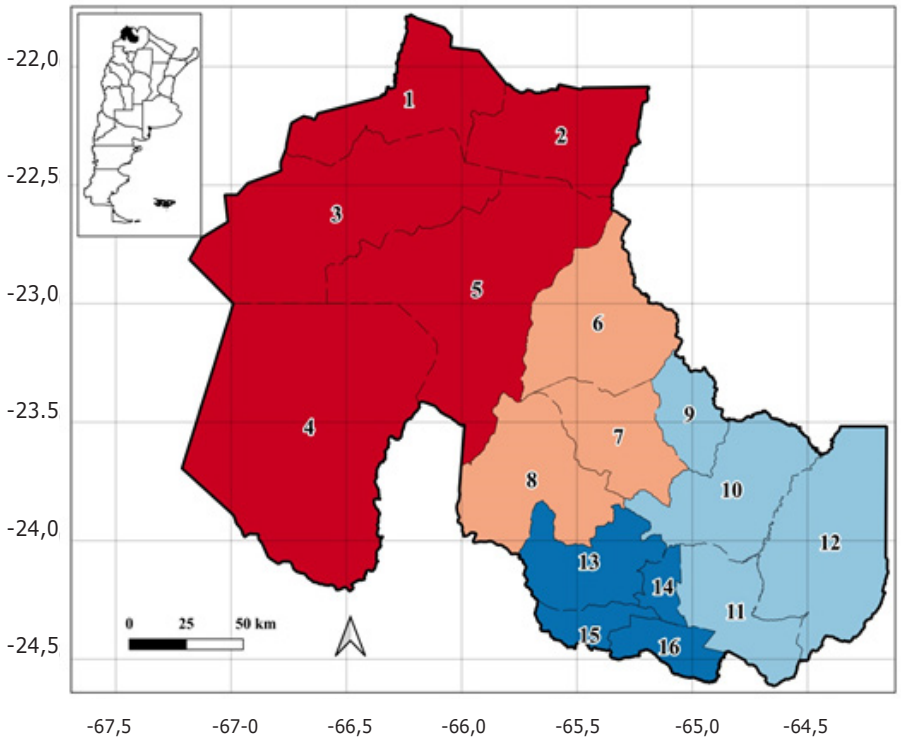

Figura 1. Departamentos y regiones geográficas de la provincia de Jujuy (Argentina). 1: Santa Catalina, 2: Yavi, 3: Rinconada, 4: Susques, 5: Cochinoca, 6: Humahuaca, 7: Tilcara, 8: Tumbaya, 9: Valle Grande, 10: Ledesma, 11: San Pedro, 12: Santa Bárbara, 13: Dr. Manuel Belgrano, 14: Palpalá, 15: San Antonio, 16: El Carmen. Regiones geográficas: departamentos de color rojo "Puna", rojo claro "Quebrada, celeste "Ramal" y azul "Valle".

nivel mundial (Fick y Hijmans, 2017; Harris *et al.*, 2020). Un archivo ráster es un tipo de imagen que representa datos espaciales mediante una rejilla de píxeles, donde cada celda contiene un valor mensual de variables meteorológicas. De WorldClim se descargaron 2196 archivos rastér(s) (732 por variable meteorológica) de enero a diciembre desde 1960 al 2021. En cada ráster, el pixel representa el valor mensual de la variable en estudio, así el ráster mensual de enero de 1960 de temperatura máxima media contiene información del promedio de las temperaturas máximas diarias de un mes (enero) y año determinado (1960). El valor anual para las temperaturas se obtiene con el promedio de las temperaturas medias (de enero a diciembre) y la precipitación anual con el acumulado de las precipitaciones mensuales (de enero a diciembre). El valor anual de temperaturas y precipitación se obtiene para los 61 años, y posteriormente se promedian los valores anuales (temperatura máxima media anual, temperatura mínima media anual y precipitación media anual).

Período actual

A partir de capas ráster(s) mensuales recortadas para la provincia de Jujuy se calcularon los valores anuales medios de temperaturas medias máxima (Tmáx) y mínima (Tmín) y precipitación (Prec). Se consideró "período actual" al comprendido entre 1960 al 2021.

Validación y tendencias anuales 1960-2021

Para validar los datos anuales de Tmáx, Tmín y Prec de WorldClim se determinaron tres indicadores de evaluación: (i) sesgo (MBE), (ii) coeficiente de correlación (R2) y (iii) el error absoluto medio (MAE) (Toconás *et al.*, 2019). La determinación de los indicadores de evaluación requiere datos de la base de WorldClim e información meteorológica de superficies. Los datos anuales de superficie fueron considerados de las estaciones meteorológicas Augusto Romain (1988-2021; Lat. -24,20 y Lon. -65,32), La Quiaca (1960-2021; Lat. -22,10 y Lon. -65,6), Jujuy Aero (1968-2021; Lat. -24,38 y Lon. -65,08) y Hornillos (2016 y 2018; Lat. -23,66 y Lon. -65,43). Utilizando la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas mencionadas se extrajeron los valores anuales de la base de datos WorldClim y posteriormente se determinaron los indicadores de evaluación. Se aplicó el método Bootstrap para obtener los intervalos de confianza de los indicadores de evaluación mediante el método de percentiles en el software R (Ledesma, 2008; R Core Team, 2023). Además, se determinó la mediana de los tres indicadores de evaluación. Para la serie anual del período 1960-2021 de los tres elementos meteorológicos, se determinó la significancia de la tendencia utilizando la prueba de Mann–Kendall con la función mk.test de la librería trend en el software R (Pohlert, 2023).

Período proyectado

Se consideró el período 2081-2100 en dos escenarios (SSP2-4.5 y SSP5-8.5) para determinar las proyecciones futuras de los tres elementos meteorológicos. El escenario SSP2-4.5 fue considerado debido a que su narrativa muestra al mundo siguiendo una trayectoria en la que las tendencias sociales, económicas y tecnológicas no se desvían marcadamente de los patrones históricos con 4,5 W m^{-2} de forzamiento radiativo (Riahi *et al.*, 2017), por lo que se podría considerar que en este escenario los patrones climáticos futuros al 2081-2100 seguirán el comportamiento más optimista. El escenario SSP5-8.5 establece en su narrativa un desarrollo basado en combustibles fósiles con grandes retos para la mitigación, pocos desafíos para la adaptación con 8,5 W m^{-2} de forzamiento radiativo (Riahi *et al.*, 2017), lo que podría considerarse como un escenario con comportamiento pesimista.

Se utilizaron capas de ráster(s) mensuales medios de 13 modelos climáticos disponibles en WorldClim para determinar las proyecciones futuras de los tres elementos meteorológicos. Para cada modelo se determinó el valor anual de los tres elementos meteorológicos, proyectado al periodo 2081-2100 en los dos SSP para toda la provincia de Jujuy. Para reducir la incertidumbre de las proyecciones, se utilizó el método de conjunto de modelos climáticos múltiples para calcular el promedio aritmético de los 13 modelos climáticos (Zhou *et al.*, 2021). El promedio aritmético se basó en la noción del modelo de democracia "un modelo, un voto", es decir, todos los modelos climáticos disponibles se integraron con el mismo peso (Zhou *et al.*, 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución espacial de las variables meteorológicas período actual

La provincia de Jujuy presenta condiciones actuales de Tmáx de 18,7±0,4 ºC, Tmín de 3,2±0,4 ºC, Prec de 310±51 mm (Figuras 2, 3 y 4). El valor de las condiciones climáticas de las tres variables meteorológicas estimados para toda la provincia está condicionada por la

región geográfica Puna y podría deberse a que es la mayor superficie en la provincia con un 55% de extensión territorial (Buitrago, 1999).

Validación y tendencias anuales

El coeficiente de correlación (R^2) de la relación entre los registros de superficie y WorldClim fue superior al

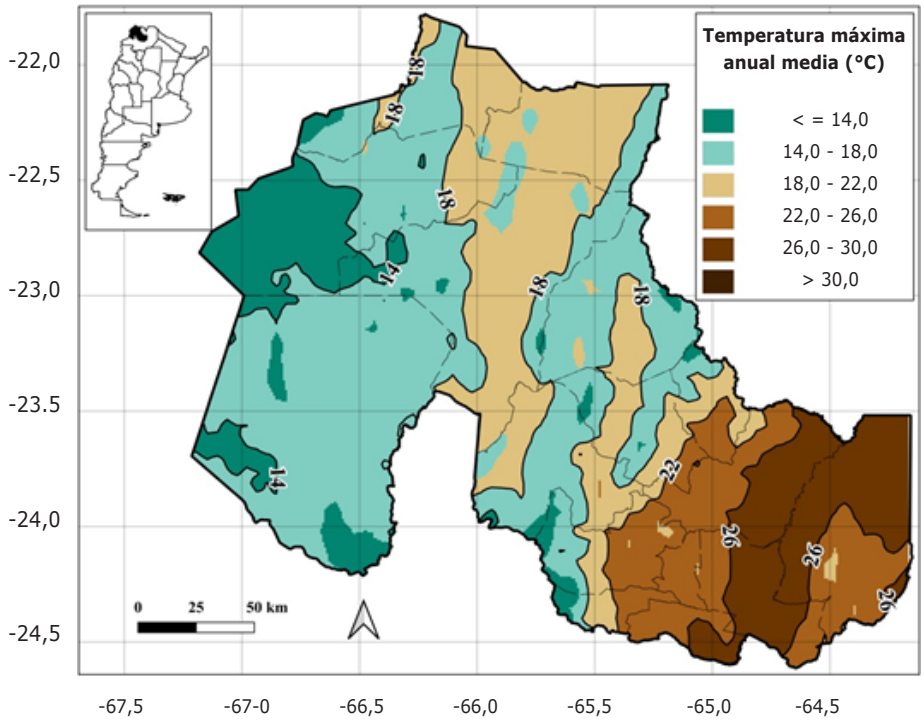

Figura 2. Distribución espacial de la temperatura máxima anual media del período actual (1960 al 2021) para la provincia de Jujuy, Argentina, según datos de WorldClim 2.1.

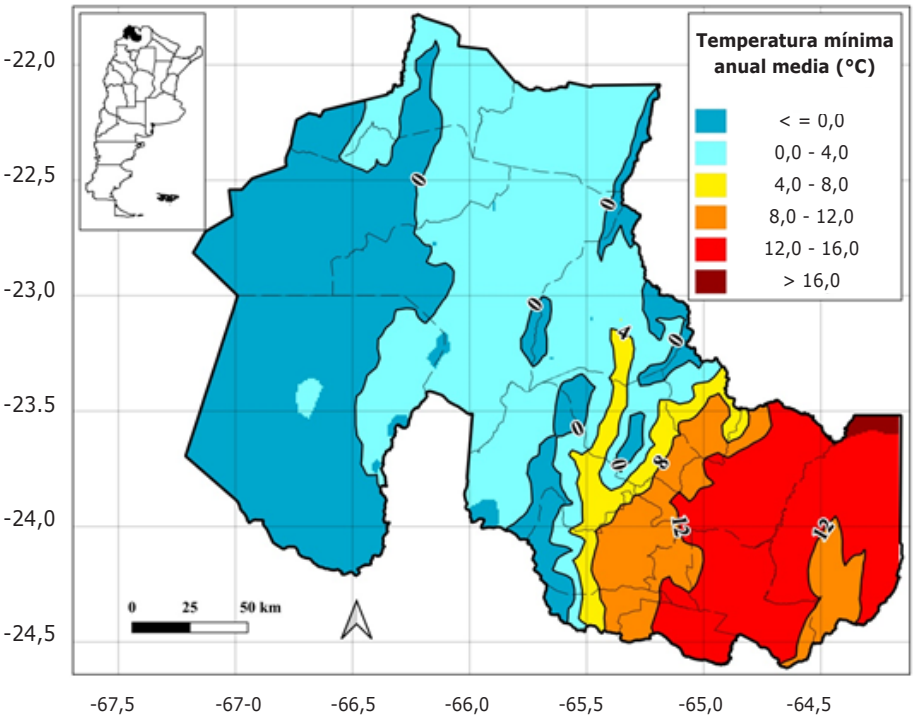

Figura 3. Distribución espacial de la temperatura mínima anual media del período actual (1960 al 2021) para la provincia de Jujuy, Argentina, según datos de WorldClim 2.1.

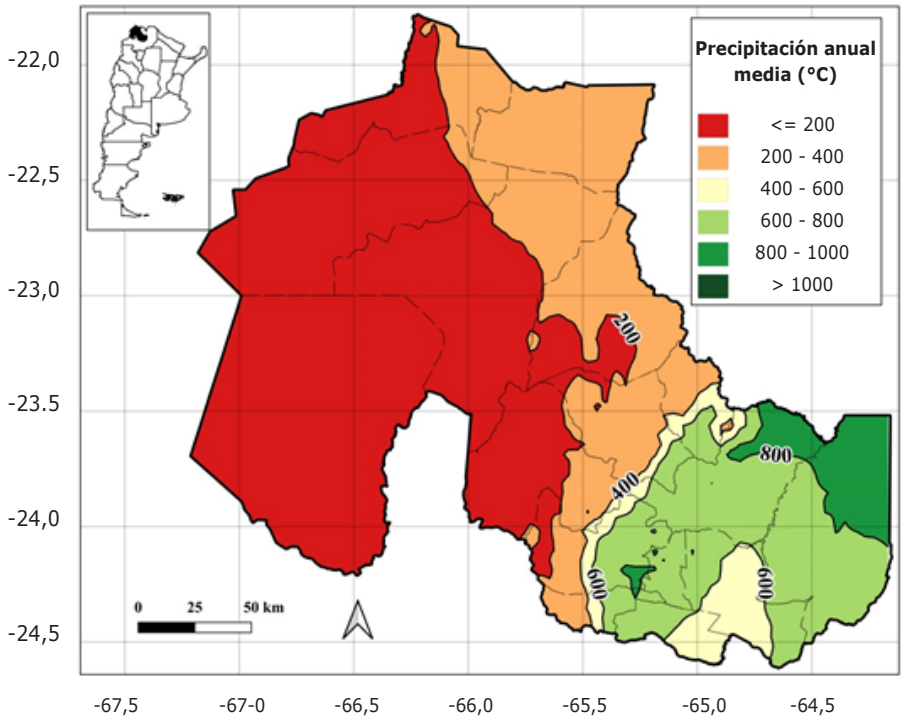

Figura 4. Distribución espacial de la precipitación anual media del período actual (1960 al 2021) para la provincia de Jujuy, Argentina, según datos de WorldClim 2.1.

0,92 para las tres variables meteorológicas estudiadas (Cuadro 1). Los intervalos de confianza del R^2 en las tres variables presentaron rangos (diferencia entre el límite superior e inferior del intervalo de confianza) estrechos con valores menores a 0,04 de R^2. Los datos de WorldClim tienden a sobreestimar los valores de Tmáx y Tmín, y a subestimar a la Prec (Cuadro 1). La diferencia entre los registros de superficie y WorldClim en la variable Prec fue de 93,93 mm, para Tmáx fue de 0,75 ºC y de 1,10 ºC para Tmín (Cuadro 1). Estos resultados concuerdan con los reportados por Busto *et al.* (2017), quienes encontraron una alta asociación y diferencias aproximadas en temperatura máxima y mínima entre los registros de superficie y WorldClim. Si bien los intervalos de confianza de los indicadores de evaluación de temperatura fueron estrechos, se observa mayor precisión en Tmáx que en Tmín. La diferencia en el desempeño de la temperatura probablemente se deba a la topografía irregular de Jujuy (Busto *et al.*, 2017; Fergnani, 2022).

Para la Tmáx y Tmín en la provincia de Jujuy se

Cuadro 1. Indicadores de evaluación para las tres variables meteorológicas en estudio para la provincia de Jujuy, Argentina. Tmáx: temperatura media máxima anual; Tmín: temperatura media mínima anual; Prec: precipitación media anual, MBE: sesgo; MAE: error absoluto medio; R^2: coeficiente de correlación.

Variables meteorológicas	Indicadores de evaluación	Intervalo de confianza		Mediana
		2,50%	97,50%	
Tmáx	MBE	0,30	0,63	0,46
	MAE	0,60	0,85	0,75
	R^2	0,94	0,98	0,96
Tmín	MBE	0,37	0,74	0,57
	MAE	0,96	1,29	1,10
	R^2	0,98	0,99	0,99
Prec	MBE	-76,53	-45,65	-62,32
	MAE	80,80	105,98	93,93
	R^2	0,92	0,96	0,94

observan tendencias crecientes y significativas (Z= 2,22 y p= 0,03; Z= 3,60 y p= 0,0003, respectivamente). La Prec presenta tendencia creciente (Z= 0,79) y no significativa (p= 0,43). Los resultados encontrados confirman la tendencia creciente de las variables climáticas ya reportada en estudios anteriores (Rusticucci y Barrucand, 2004; Marengo *et al.*, 2009). Los diferentes períodos de años analizados en Hurtado *et al.*, (2008) y Alabar *et al.* (2020), así como la representación espacial de las tendencias observadas (tendencia de la ubicación geográfica de la estación meteorológica en los estudios anteriormente nombrados y la tendencia de toda la provincia de Jujuy en el presente estudio) son indicios de los rasgos de cambio climático en el NOA.

Período proyectado

Para toda la provincia de Jujuy, en el escenario SSP2-4.5 se prevén aumentos de 3,2 ºC, 2,9 ºC y de 30 mm, de Tmáx, Tmín y Prec, respectivamente mientras que en el escenario SSP5-8.5 los aumentos serían de 5,8 °C en la Tmáx, 5,3 °C en la Tmín y 46 mm en la Prec (Figura 5). Con respecto al valor actual, la región Puna tendría los mayores incrementos de Tmáx con 6,2 ºC en SSP5-8.5 y 3,6 ºC en SSP2-4.5, mientras que en el Ramal ocurrirían los mayores aumentos de la Prec en 89 mm en SSP2-4.5 y 129 mm en SSP5-8.5 (Cuadro 2).

El cambio en las condiciones climáticas futuras podría estar influenciado por las tendencias identificadas en estudios previos (Hurtado *et al.*, 2008; Alabar *et al.*, 2020), así como por el fenómeno de histéresis asociado a dichas tendencias. La histéresis refiere a las diferentes trayectorias que puede seguir el sistema climático durante los procesos de emisión y eliminación de gases de efecto invernadero (Kim *et al.*, 2022; Song *et al.*, 2023). Los resultados del presente estudio sugieren que, a pesar de la posible adopción de políticas que mitiguen las emisiones de gases de efecto invernadero en SSP2-4.5, los aumentos de temperatura y precipitación en la provincia de Jujuy son inevitables, lo que podría comprometer las actividades productivas y los ecosistemas de Jujuy (Riahi *et al.*, 2017). Cabe mencionar que la influencia de los gases de efecto invernadero no se limita al actual período de calentamiento, sino que se extiende más allá de la escala de tiempo perceptible por los humanos (Kim *et al.*, 2022).

Los aumentos de las temperaturas extremas podrían resultar en episodios de calor más prolongados e intensos, lo cual podría tener un impacto negativo en la actividad agropecuaria de la provincia de Jujuy. Por un lado, es sabido que el desempeño productivo del ganado productor de leche y carne se ve afectado directamente por las variables climáticas de su entorno, en particular la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento, que pueden alterar el equilibrio térmico del animal (Theusme *et al.*, 2021). Por lo tanto, los cambios en las condiciones climáticas futuras proyectadas en el presente estudio podrían intensificar el estrés térmico en una de las principales actividades pecuaria que se realizan en Jujuy, entre ellas la ganadería ovina (INDEC, 2018; Berraz *et al.*, 2020).

Cuadro 2. Condiciones climáticas actual y proyectadas por región geográfica de la provincia de Jujuy, Argentina. Los valores representan la media desvío estándar. Tmáx: temperatura media máxima anual en ºC; Tmín: temperatura media mínima anual en ºC; Prec: precipitación media anual en mm; SSP2-4.5: escenario que supone un aumento de la temperatura de entre 0,3 y 1,8 °C para finales del siglo XXI; SSP5-8.5: escenario que supone un aumento de entre 4,0 y 4,8 °C para finales del siglo XXI. El período actual comprende desde 1960 al 2021 y el proyectado, 2081-2100.

Regiones geográficas	Variables meteorológicas	Período actual	SSP2-4,5	SSP5-8,5
Puna	Tmáx	16,2±2,2	19,8±2,1	22,4±2,1
	Tmín	-0,6±2,3	2,5±2,3	5,1±2,2
	Prec	160±58	170±65	176±71
Quebrada	Tmáx	17,5±2,1	20,7±2,0	23,2±2,0
	Tmín	1,9±2,6	4,6±2,6	7,1±2,5
	Prec	230±96	253±107	265±112
Valles	Tmáx	21,4±4,2	24,3±4,1	26,7±4,0
	Tmín	7,9±5,2	10,5±5,2	12,9±5,1
	Prec	545±212	597±233	623±244
Ramal	Tmáx	25,3±2,8	28,1±2,7	30,3±2,7
	Tmín	12,8±3,3	15,3±3,3	17,5±3,3
	Prec	696±140	785±159	825±168

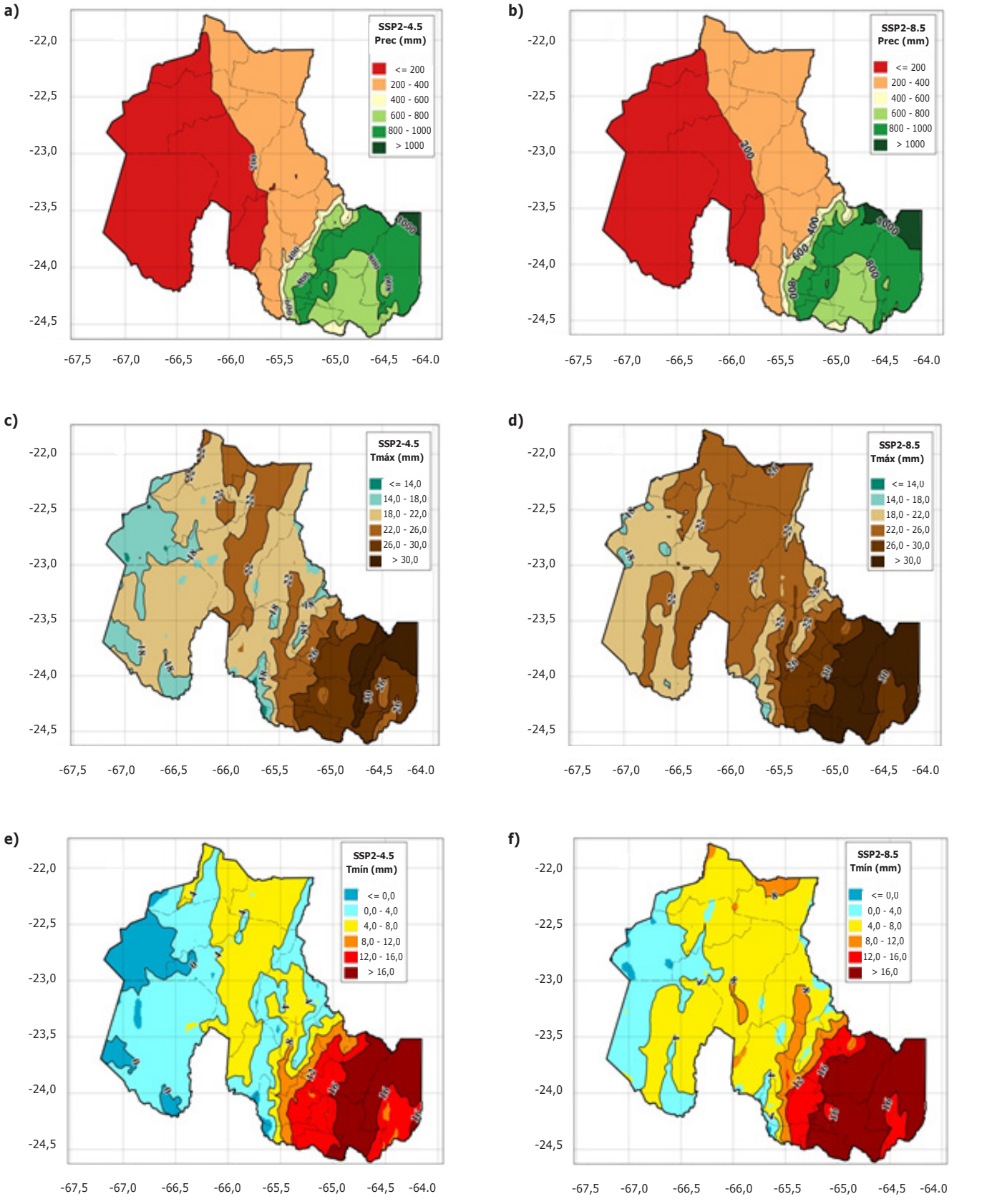

Figura 4. Distribución espacial de la precipitación anual media del período actual (1960 al 2021) para la provincia de Jujuy, Argentina, según datos de WorldClim 2.1.

La exposición de las ovejas a temperaturas ambientales elevadas induce un aumento en la disipación del exceso de calor corporal. La disipación del exceso de calor corporal se excluye mediante la evaporación del agua del tracto respiratorio y la superficie de la piel a través del jadeo y la sudoración, respectivamente. La sudoración en las ovejas con lana es mucho menos efectiva debido a la presencia de la cubierta de lana. Cuando los mecanismos fisiológicos del animal no logran contrarrestar la carga térmica excesiva, la temperatura rectal aumenta (Macías-Cruz *et al.*, 2018). Al mismo tiempo, dicha exposición de las ovejas al estrés térmico provoca una serie de cambios drásticos en las funciones biológicas, que incluyen una disminución de la eficiencia y la utilización de la ingesta de alimentos, alteraciones en los equilibrios de agua, proteínas, energía y minerales, reacciones enzimáticas, secreciones hormonales y metabolitos sanguíneos (Marai *et al.*, 2007). La disminución de la ingesta de alimento afectará negativamente el crecimiento, peso de la canal y calidad de la carne (Theusme *et al.*, 2021).

Por otro lado, es importante evaluar el impacto negativo de las altas temperaturas en el crecimiento y desarrollo de las plantas de caña de azúcar, que se ha estudiado desde mediados de la década de 1960 a nivel mundial, y que han sido demostrados de varias maneras (Verma *et al.*, 2020). El cultivo de caña de azúcar a altas temperaturas (~40 °C) provoca efectos negativos como reducción de biomasa, aumento del número de macollos, secado de hojas más viejas y entrenudos más cortos (Chohan, 2019). Las plantas bajo estrés aumentan los niveles de prolina, glicina betaína, azúcares solubles, carotenoides y flavonoides, y se ha descubierto que dicha variación en los metabolitos es importante para mejorar el estrés térmico en este cultivo. Ante este contexto, es clave monitorear la evolución de las temperaturas y los cambios espaciales de las temperaturas extremas en los distintos departamentos de la provincia de Jujuy, donde la producción de caña de azúcar representa una de las principales actividades productivas, como es el caso de Ledesma o el Ramal (Chohan, 2019; Verma *et al.*, 2020).

Los aumentos de las temperaturas extremas y las precipitaciones observados en el presente estudio para los próximos 100 años podrían tener un impacto negativo en la biodiversidad presente en las áreas protegidas de la provincia de Jujuy (Figura 5). Estudios previos sugieren que el impacto en la pérdida de biodiversidad se ve más afectado por los cambios en la precipitación y la temperatura que por los cambios en la frecuencia de los desastres naturales (*e.g.* terremotos, deslizamientos de tierra, inundaciones, sequías, incendios forestales, temperaturas extremadamente bajas y lluvias heladas) (Habibullah *et al.*, 2022). El potencial de conservación a largo plazo de las áreas protegidas depende de su capacidad para mantener las condiciones bióticas y abióticas que promueven la biodiversidad en el tiempo. Una preocupación fundamental respecto al cambio climático es que, dado que las áreas protegidas tienen ubicaciones fijas, podrían dejar de cumplir su función de conservación si las especies cambian su distribución en respuesta a las nuevas condiciones climáticas y se desplazan fuera de los límites de estas áreas (Else *et al.*, 2022). Estudios previos sugieren que el cambio en las condiciones climáticas en Jujuy pudo haber modificado la distribución potencial de las especies arbóreas en las yungas de Jujuy y Salta (Alabar *et al.*, 2022). Si bien aumentos de la temperatura y las precipitaciones en Jujuy ya han sido reportados en otros estudios (Barro *et al.*, 2014), las proyecciones climáticas futuras para los próximos 100 años podrían impactar más severamente en la biodiversidad de Jujuy, ya que podrían modificar las distribuciones y/o composiciones de especies. A partir de los resultados presentados en este trabajo, se sugiere monitorear el cambio en la distribución de especies clave en las diferentes regiones geográficas de Jujuy en un contexto de cambio climático.

El método de conjunto de modelos climáticos múltiples, al calcular el promedio aritmético de las proyecciones de 13 modelos, proporciona una representación general del comportamiento climático bajo los escenarios considerados (Zhou *et al.*, 2021). Sin embargo, esta aproximación presenta algunas limitaciones inherentes. Un aspecto relevante es que el uso de la media aritmética tiende a suavizar las proyecciones, lo que puede llevar a la pérdida de eventos extremos o de gran magnitud que, aunque menos frecuentes, tienen un impacto significativo en los sistemas naturales y humanos (Knutti y Sedláček, 2013). Al igual que en otros enfoques estadísticos, la media puede atenuar las variaciones extremas dado que modelos que proyecten condiciones más severas o extremas pueden ver su influencia reducida en el promedio final (IPCC, 2007). Este fenómeno podría llevar a subestimar el riesgo de eventos climáticos extremos, como olas de calor o precipitaciones intensas, que podrían tener repercusiones importantes en la región estudiada (IPCC, 2021). Además, es fundamental reconocer que los modelos climáticos no pueden

capturar toda la complejidad de los procesos atmosféricos, y que su capacidad para predecir con precisión los extremos climáticos está limitada por las representaciones simplificadas de algunos procesos dinámicos (Stainforth *et al.*, 2005). Por lo tanto, sería recomendable explorar la incorporación de otros enfoques de modelado, como los métodos ponderados o de escenarios más específicos, que permitan evaluar el rango de incertidumbre y la variabilidad climática con mayor detalle, lo que contribuiría a un abordaje más integral y robusto en la evaluación de los posibles impactos futuros (Knutti y Sedláček, 2013; Riahi *et al.*, 2017).

CONCLUSIÓN

Los mapas de las variables meteorológicas generados en el presente estudio para la provincia de Jujuy permitirán identificar los sitios con mayor impacto de los cambios en las condiciones climáticas futuras. El análisis realizado proporciona evidencias justificadas para tomar medidas urgentes para mitigar el cambio climático. Los resultados presentados en este trabajo sugieren que el cambio climático proyectado para los próximos 100 años en la provincia de Jujuy tendrá consecuencias sobre las actividades productivas y los ecosistemas locales. A pesar de la implementación de políticas de mitigación como las consideradas en el escenario SSP2-4.5, los efectos de la histéresis climática indican que ciertos impactos serán inevitables. La actividad agropecuaria se verá afectada de diferentes maneras. En particular el ganado ovino enfrentará un aumento del estrés térmico que afectará el bienestar animal y la productividad. Los cultivos, como la caña de azúcar, verán comprometido su crecimiento y desarrollo debido a las altas temperaturas, lo que podría reducir su rendimiento y calidad. Por otra parte, la biodiversidad de las áreas protegidas también se encuentra en riesgo, ya que los cambios en las condiciones climáticas podrían alterar la distribución de especies a límites geográficos de conservación diferentes a los actuales. En este contexto, resulta fundamental fortalecer el monitoreo climático y ecológico, así como adaptar las estrategias de manejo agrícola y de conservación a los nuevos escenarios climáticos, a fin de reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y productivos de la provincia de Jujuy.

BIBLIOGRAFÍA

Alabar, F., Hurtado, R. H., Valdiviezo Corte, M. B. y Moreno, C. (2020). Análisis temporal de índices climáticos de precipitación de las provincias de Jujuy y Salta. *Revista Agrarias*, 7-13. https://www.fca.unju.edu.ar/media/revista_articulo/trabajo1_Alabar_y_otros.pdf

Alabar, F., Politi, N., Názaro, P., Amoroso, M. y Rivera, L. (2022). Changes in the potential distribution of valuable tree species based on their regeneration in the Neotropical seasonal dry forest of north-western Argentina. *Environmental Conservation, 49*(2), 83-89. https://doi.org/10.1017/S0376892922000133

Armstrong McKay, D. I., Staal, A., Abrams, J. F., Winkelmann, R., Sakschewski, B., Loriani, S., Fetzer, I., Cornell, S. H., Rockström, J. y Lenton, T. M. (2022). Exceeding 1.5 C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science, 377*(6611), eabn7950. https://doi.org/10.1126/science.abn7950

Barros, V., Carlinom, H., Magnasco, E. y Magrin, G. (2014). Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático-Buenos Aires, Argentina. https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/tercera-comunicacion

Bejarano, I., Dipierri, J. E. y Alfaro, E. (2006), Datos censales y evolución del flujo génico en la provincia de Jujuy, Argentina (1869-1991). *Antropo, 13*, 19-33. www.didac.ehu.es/antropo

Berraz, M. O., Setti, W. E., Lamas, H. E., Ochner, E. J. y Galian, O. R. (2020). Evaluación de rendimiento de reses de corderos en la cuenca de los Pozuelos, Jujuy–Argentina. Estudio de caso. *Revista Agrarias, 13*(2), 14-22. https://fca.unju.edu.ar/media/revista_articulo/trabajo2_Berraz_y_otros.pdf

Buitrago, L. G. (1999). *El Clima de la Provincia de Jujuy*. https://dipec.jujuy.gob.ar/aspectos-generales/datos-climaticos/

Bustos, M. L., Ferrelli, F. y Piccolo, M. C. (2017). Estudio Comparativo de Tres Modelos Climáticos en Argentina. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 40*(1), 34-43. https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/27067

Cerasoli, F., D'Alessandro, P. y Biondi, M. (2022). Worldclim 2.1 versus Worldclim 1.4: Climatic niche and grid resolution affect between□version mismatches in habitat suitability models predictions across Europe. *Ecology and evolution, 12*(2), e8430.

Chohan, M. (2019). Impact of climate change on sugarcane crop and remedial measures - a review. *Pakistan Sugar Journal, 34*(1), 15-22. https://doi.org/10.35380/sugar.034.01.0141

Climate Action Tracker-CTA. (2023). Warming projections global update – Diciembre 2023. Climate Analytics & NewClimate Institute. https://climateactiontracker.org/global/temperatures/

Elsen, P. R., Monahan, W. B., Dougherty, E. R., y Merenlender, A. M. (2020). Keeping pace with climate change in global terrestrial protected areas. *Science advances, 6*(25), eaay0814. https://doi.org/10.1126/sciadv.aay0814

Fergnani, P. N. (2022). R como un SIG: Extracción de datos climáticos de WorldClim. *Ecología Austral, 2*, 045-054. https://doi.org/10.25260/EA.22.32.1.0.1119

Fick, S. E. y Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology, 37*(12), 4302-4315. https://doi.org/10.1002/joc.5086

Gahlawat, I. N. y Lakra, P. (2020). Global Climate change and its effects. *Integrated Journal of Social Sciences, 7*(1), 14-23. http://www.pubs.iscience.in/journal/index.php/ijss/article/view/1120/687

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático-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.* En: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. y Miller, H. L. (Eds.). Cambridge University Press.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático-IPCC. (2021). Summary for policymakers. En: *Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* IPCC.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático-IPCC. (2023). Sixth Assessment Report: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Habibullah, M. S., Din, B. H., Tan, S. H. y Zahid, H. (2022). Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(1), 1073-1086. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15702-8

Harris, I., Osborn, T. J, Jones, P. D. y Lister, D. H. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data, 7*, 109. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3

Hurtado, R., Faroni, A., Serio, L. y Vich, H. (2008). Estudio de las precipitaciones en la región Noroeste de la Argentina. *XII Reunión Argentina de Agrometeorología*. http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/2008-AADA-JUJUY-PPNOA.pdf

Informe Productivo Provincial-IPP. (2019). Ministerio de Hacienda. Presidencia de la Nación. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_informes_productivos_provinciales_jujuy_0.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censos-INDEC. (2018). *Censo Nacional Agropecuario*. Resultados definitivos. INDEC, Ministerio de Economía de la Nación Argentina. https://www.indec.gob.ar/

Kim, S. K., Shin, J., An, S. I., Kim, H. J., Im, N., Xie, S. P., Kug, J. S. y Yeh, S. W. (2022). Widespread irreversible changes in surface temperature and precipitation in response to CO_2 forcing. *Nature Climate Change, 12*(9), 834-840. https://doi.org/10.1038/s41558-022-01452-z

Knutti, R. y Sedláček, J. (2013). Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. N*at. Climate Change, 3*, 369-373. https://doi.org/10.1038/nclimate1716

Ledesma, R. (2008). Introducción al Bootstrap. Desarrollo de un ejemplo acompañado de software de aplicación. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology, 4*, 51-60. https://doi.org/10.20982/tqmp.04.2.p051

Macías-Cruz, U., Gastélum, M. A., Avendaño-Reyes, L., Correa-Calderón, A., Mellado, M., Chay-Canul, A. y Arechiga, C. F. (2018). Variaciones en las respuestas termoregulatorias de ovejas de pelo durante los meses de verano en un clima desértico. *Revista mexicana de ciencias pecuarias, 9*(4), 738-753. https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i4.4527

Marai, I. F., El-Darawany, A. A., Fadiel, A. y Abdel-Hafez, M. A. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep—a review. *Small ruminant research, 71*(1-3), 1-12. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.003

Marengo, J. A., Jones, R., Alves, L. M. y Valverde, M. C. (2009). Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 29*(15), 2241-2255.

Meinshausen, M., Smith, S. J., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L., Lamarque, J. F., Matsumoto, K., Montzka, S. A., Raper, S. C., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G. J. y van Vuuren, D. P. (2011). The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic change, 109*, 213-241. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0156-z

Pedersen, J. S., Santos, F. D., van Vuuren, D., Gupta, J., Coelho, R. E., Aparício, B. A. y Swart, R. (2021). An assessment of the performance of scenarios against historical global emissions for IPCC reports. *Global Environmental Change, 66*, 102199. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102199

Pohlert, T. (2023). Trend: Non-parametric trend tests and change-point detection. R package version 1.1.6, https://CRAN.R-project.org/package=trend.

R Core Team. (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org.

Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'neill, B. C., Fujimori, S Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Crespo Cuaresma, J., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K. y Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global environmental change, 42*, 153-168. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009

Rusticucci, M. y Barrucand, M. (2004). Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate, 17*(20), 4099-4107. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<4099:OTACIT>2.0.CO;2

Sánchez Mendoza, Flores Villalva, S., Rodríguez Hernández, E., Anaya Escalera, A. M., Contreras Contreras, E. A. (2020). Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias, 11*(2), 126-145. https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742

Seneviratne, S. I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C. M., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C. y Zhang, X. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. En: Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M. y Midgley, P. M. (Eds.). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation* (pp. 109-230). Cambridge University Press.

Sistema de Información de Biodiversidad-SIB. (2024). Administración de Parques Nacionales. https://sib.gob.ar/

Song, S. Y., Yeh, S. W., Allan, R. P., Xie, S. P., An, S. I. y Park, H. S. (2023). Climate sensitivity controls global precipitation hysteresis in a changing CO_2 pathway. *npj Climate and Atmospheric Science, 6*(1), 156. https://doi.org/10.1038/s41612-023-00484-2

Stainforth, D. A., Aina, T., Christensen, C., Collins, M., Faull, N., Frame, D. J., Kettleborough, J. A., Knight, S., Martin, A., Murphy, J. M., Piani, C., Sexton, D., Smith, L. A., Spicer, R. A., Thorpe, A. J. y Allen, M. R. (2005). Uncertainty in predictions of the climate response to rising levels of greenhouse gases. *Nature, 433*(7024), 403-406. https://doi.org/10.1038/nature03301

Theusme, C., Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Correa-Calderón, A., García-Cueto, R. O., Mellado, M. Vargas-Villamil, L. y Vicente-Pérez, A. (2021). Climate change vulnerability of confined livestock systems predicted using bioclimatic indexes in an arid region of México. *Science of the Total Environment, 751*, 141779. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141779

Tian-Jun, Z. H. O. U., Zi-Ming, C. H. E. N., Xiao-Long, C. H. E. N., Meng, Z. U. O., Jie, J. I. A. N. G., y Shuai, H. U. (2021). Interpreting IPCC AR6: Future global climate based on projection under scenarios and on near-term information. *Advances in Climate Change Research, 17*(6), 652. http://www.climatechange.cn/EN/10.12006/j.issn.1673-1719.2021.239

Toconás, P. J., Alabar, F. D., Arias, M. P. y Hurtado, R. H. (2019). Estimación del agua en el suelo mediante el balance hidrológico operativo agrícola, para los departamentos Santa Catalina y Cochinoca, provincia de Jujuy. *Revista Agrarias, 12*(19), 57-71. https://www.fca.unju.edu.ar/media/revista_agraria/REVISTA_AGRARIA_2019_VOL_XII_.pdf

Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research, 47*(2), 123-138. https://doi.org/10.3354/cr00953

Verma, K. K., Singh, P., Song, X. P., Malviya, M. K., Singh, R. K., Chen, G. L., Salomón, S. y Li, Y. R. (2020). Mitigating climate change for sugarcane improvement: role of silicon in alleviating abiotic stresses. *Sugar Tech, 22*, 741-749. https://doi.org/10.1007/s12355-020-00831-0

Viglizzo, E. F., y Frank, F. C. (2006). Ecological interactions, feedbacks, thresholds and collapses in the Argentine Pampas in response to climate and farming during the last century. *Quaternary International, 158*(1), 122-126. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2006.05.022

Wudu, K., Abegaz, A., Ayele, L. y Ybabe, M. (2023). The impacts of climate change on biodiversity loss and its remedial measures using nature based conservation approach: a global perspective. *Biodiversity and Conservation, 32*(12), 3681-3701. https://doi.org/10.1007/s10531-023-02656-1

Zhou, Y., Zhang, Z., Zhu, B., Cheng, X., Yang, L., Gao, M. y Kong, R. (2021). Maxent modeling based on cmip6 models to project potential suitable zones for cunninghamia lanceolata in China. *Forests, 12*(6), 752. https://doi.org/10.3390/f12060752