

Respuestas innovadoras de agricultores del altiplano boliviano bajo entornos de riesgo climático cambiante

MAGALÍ GARCIA, EDWIN YUCRA, JERE GILLES, GAVI ALAVI, MARLENE MAMANI

En las zonas altas tropicales de Bolivia, desde hace más de 3000 años, los productores se encuentran establecidos a altitudes superiores a los 3700 m s. n. m., enfrentando recurrente y erráticamente características climáticas adversas como heladas, granizos, sequías, vientos y nevadas. Estos eventos desafían la capacidad productiva de la zona y demuestran la elevada capacidad adaptativa y la flexibilidad productiva de los agricultores. Los frecuentes extremos meteorológicos se producen por la combinación única de latitudes tropicales con altitudes significativas, lo que combina mucha energía con transparencia atmosférica. Bajo un contexto de calentamiento global, esta singularidad podría determinar comportamientos puntuales que divergen de lo esperado en un planeta que se calienta.

Sistema productivo del altiplano boliviano

La larga tradición de complementación de los agricultores con un medio agreste ha dado lugar a un sistema productivo único y hasta inconcebible en otras latitudes. A pesar de estar situada en los trópicos, debido a su altitud, la zona no es productiva en invierno pues las heladas ocurren casi a diario, por lo que, incluso con disponibilidad de riego, la agricultura a cielo abierto es prácticamente imposible en esa época. La producción agrícola se restringe entonces a los meses de verano, época de lluvias, marcando una complementariedad que se traduce en un periodo de cultivo muy estricto, aproximadamente desde finales de octubre hasta mediados de abril (figura 1). En este agreste entorno los agricultores han desarrollado alternativas y estrategias de producción relativamente exitosas. Por ejemplo, gracias a la observación de indicadores naturales del clima futuro, toman decisiones productivas con antelación y con elevada probabilidad de cumplimiento de lo pronosticado (Orlove y otros, 2000; García y otros, 2019). Sin embargo, en las últimas décadas los indicadores tradicionales muestran poca o errática expresión y existen pocos indicadores sobre eventos de corto plazo. Otra estrategia es el cultivo de especies y variedades rústicas y resistentes a heladas, pero tienen rendimientos bajos, lo que ha obligado a los agricultores a buscar nuevas estrategias, saliendo del enfoque agrícola tradicional de la zona.

Debido a que la agricultura altiplánica se desarrolla en gran medida a secano (la zona no cuenta con fuentes de agua suficientes para establecer sistemas de riego), los agricultores dependen del inicio de la época de lluvias para proceder a la siembra y esta determina el éxito de la producción anual. La presencia de las lluvias es determinante pues su combinación con el periodo libre de heladas determina la ocurrencia de

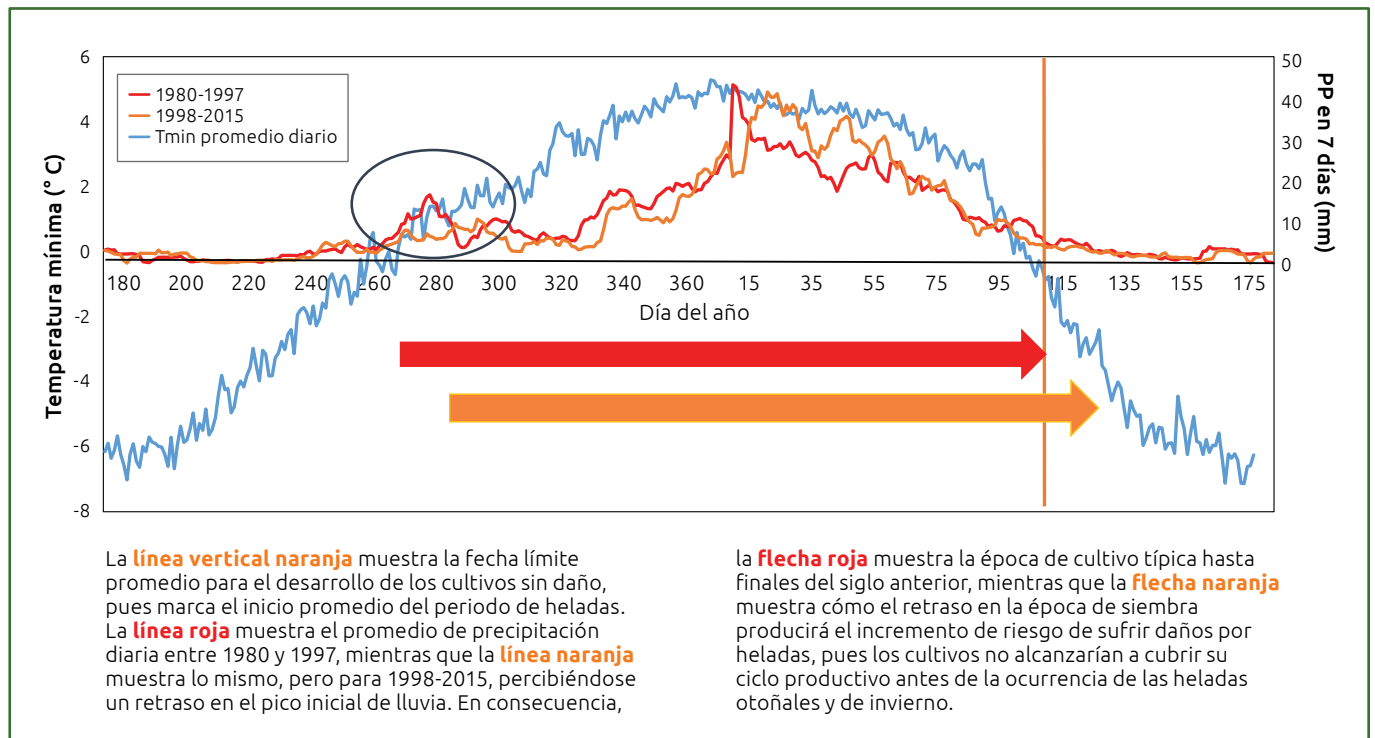
una estrecha ventana de cultivo (flecha roja en la figura 1). Es claro que un retraso en la época de lluvias provocará que todo el ciclo del cultivo se retrase, lo cual lo expondría a daños cerca de la cosecha o en la maduración debido a la casi segura ocurrencia de heladas de otoño (flecha naranja en la figura 1).

El impacto de un planeta cambiante

A pesar de su altitud y su relativo aislamiento físico, como el resto del planeta, el altiplano boliviano sufre la influencia del incremento de gases de efecto invernadero (GEI). Desde hace tres décadas aproximadamente, los agricultores reportan modificaciones y variaciones en el ámbito térmico y pluviométrico como el mostrado en el recuadro 1, ante los cuales reaccionaron con rapidez, cambiando su sistema productivo mediante el reemplazo de variedades de las mismas especies (Taboada y otros, 2017), como es el caso del cambio de variedades de papa hacia aquellas más productivas. Sin embargo, a pesar de que los agricultores demuestran una amplia adaptabilidad heredada por generaciones, la rapidez de los cambios podría reducir la eficiencia de las medidas tomadas.

Investigadores como Valdívía y otros (2010) y Taboada y otros (2017) mostraron una tendencia clara hacia el cambio de sistema productivo altiplánico, en general introduciendo nuevas variedades, pero, inversamente, el riesgo de heladas y la dinámica estacional de la precipitación, así como su influencia sobre la toma de decisiones productivas, han sido poco estudiados. El presente trabajo pretende describir acciones tomadas autónomamente por agricultores innovadores de las zonas de estudio, influenciadas por el comportamiento de las variables meteorológicas más limitantes para la agricultura altiplánica (temperaturas ambientales bajas,

Figura 1. Esquema de la ventana productiva determinada por el periodo libre de heladas combinado con la época de lluvias



Elaboración propia.

heladas y precipitación) con una pequeña discusión sobre un potencial incremento de su vulnerabilidad.

Metodología

La información para este trabajo proviene de tres fuentes: a) datos históricos de información diaria y mensual de temperatura mínima (Tmin) y precipitación (PP) (1980-2016) de la Estación de Patacamaya, cuyos datos son confiables y es adyacente a una de nuestras zonas de estudio, y con los que se evaluará la tasa promedio de cambio de las Tmin, de las heladas y de la distribución de la precipitación a lo largo del año; b) talleres participativos con agricultores de las comunidades mencionadas, realizados entre los periodos de 2009-2015 y 2019-2020, relacionados con su sistema productivo, de los que se considera solamente la decisión de la fecha de siembra, y c) observación y conversación con agricultores innovadores dentro de las comunidades, quienes usualmente son líderes y agentes de cambio.

Resultados

Innovaciones en el sistema productivo

El comportamiento recurrentemente errático de las variables atmosféricas del altiplano boliviano ha forzado a los agricultores a desarrollar una permanente actitud de observación de señales tempranas del comportamiento de la época de lluvias y a tomar decisiones productivas en consecuencia. Esta capacidad ha debido exacerbarse bajo nuevas condiciones que gradualmente se establecieron desde 1980 aproximadamente. En los levantamientos participativos sobre los cambios de los sistemas productivos (desde 2009 hasta 2015), los agricultores refieren especial y repetidamente a un notorio retraso del inicio de la época de lluvias y a temperaturas ascendentes (García y otros, 2011; Taboada, 2017). En el primer caso, mencionan que, si el retraso de la lluvia es severo, se ven forzados a cambiar su decisión inicial de cultivo hacia especies forrajeras o de menor productividad pues serían las únicas que resistirían las heladas de abril. En el segundo caso y en forma casi intuitiva, los agricultores establecen variedades de sus cultivos

tradicionales (papa, quinua, etc.) que son menos resistentes a las heladas, pero en contraparte, son más productivas, pues al subir la temperatura del aire, concluirían más rápidamente su ciclo, aunque esto signifique que el riesgo productivo se incremente. Sin embargo, las observaciones realizadas en las últimas gestiones productivas (2019-2020) y testimonios de

R₁

En la época seca el calor es muy fuerte que nos quema, pero esto es por momentos porque, por la tarde, a partir de las 3, comienzan los fríos desde la parte alta de la cuenca. Antes, hace 20 años, las heladas eran muy fuertes. Solo podíamos sembrar papa amarga, quinua y cañahua, por eso los de la comunidad teníamos que irnos hasta los valles. Salíamos a las 4 de la mañana para llegar a las 9. Después nos hemos dado cuenta que el clima había cambiado y era posible sembrar papa dulce, nabo, cebada y otros, porque ya no hace tanto frío y la papa crece bien porque llueve...

Agricultor entrevistado en Chojiñapata
(Fuente: Encuestas Yucra, 2009).

Testimonios de agricultores innovadores que exploran la introducción de nuevos cultivos menos resistentes a las heladas o de técnicas de apoyo a la agricultura antes no utilizadas

He averiguado sobre los beneficios del tarwi, consultando a hermanos productores del norte y Cochabamba. En este lugar, por el clima y arena, solo producimos papa y quinua, pero [este año] decidimos sembrar tarwi en 1250 m², para comprobar si podía producir, porque interesa que fertilice al suelo con nitrógeno y, si no da grano, mezclar la planta al suelo. He producido vainas cargadas de grano y tienen buen precio en Cochabamba. He aprendido que es importante preparar dos veces bien el suelo en la época de lluvias y sembrar en septiembre, porque el rendimiento podría ser mucho mejor...

Agricultor innovador de Iñacamaya (62 años)



Agricultor exhibe semillas de tarwi que obtuvo de la introducción de esta nueva especie en las comunidades estudiadas en el altiplano central boliviano. 📹 Yucra, registro de campo, 2019



Campos nuevos de zanahoria en Sabilani, municipio de Umala.

📹 Yucra, registro de campo, 2019

A la caída del precio y mercado de la leche, se sumó los problemas del clima en la producción de papa. Por lo que decidimos sembrar tres hectáreas de zanahoria con el asesoramiento de hermanos productores de Viscachani [comunidad cercana]. La producción ha rendido bien, estamos en proceso de comercialización. Hemos verificado que esta zanahoria se adapta a nuestros suelos, parece que tolera las heladas y se puede conservar por varios meses para el mercado y podemos producirla junto a la papa...

Agricultor innovador de Sabilani, Umala (62 años)

He visto que los hermanos de Ancoraimes tienen un sistema de riego por aspersion. Viendo cómo funciona he adaptado con materiales de plomería y pernos para asemejar la misma forma de riego aquí en Umala. Me he ayudado en la época de siembra porque se pierden las lluvias y también cuando está en floración en febrero, el suelo se seca rápido. Este método es efectivo, de cierta manera es mejor la producción.

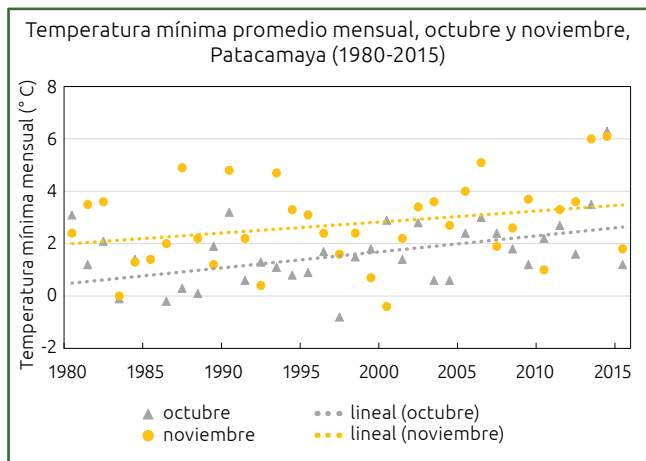
Agricultor innovador Iñacamaya (65 años)



Sistemas de riego por aspersion instalados por agricultores en Iñacamaya, Umala.

📹 Yucra, registro de campo, 2019

Figura 2. **Tendencias lineales de los registros promedio mensuales de la temperatura mínima**



Elaboración propia.

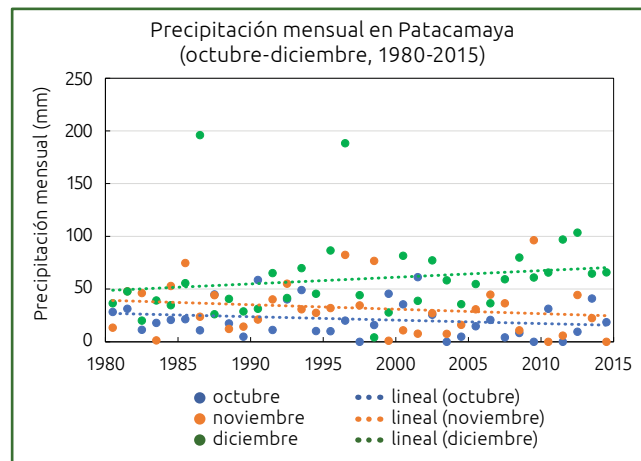
algunos agricultores innovadores muestran que, más allá del cambio en variedades de las mismas o similares especies (por ejemplo, de papa amarga a papa dulce) y ante el convencimiento de que las zonas enfrentan temperaturas más elevadas y un aparente “menor riesgo de heladas”, las decisiones han tornado hacia nuevos cultivos más productivos pero menos resistentes (recuadro 2), siendo atípicos de la zona, como el tarwi y la zanahoria. Resalta en las decisiones la inclusión de tecnologías de apoyo antes no presentes, como la implementación de sistemas de riego tanto por goteo como por aspersión. Estos cambios son introducidos por algunos agricultores que destacan por ser innovadores, quienes prueban nuevas estrategias productivas y que, en caso de tener éxito, son rápidamente imitados por otros agricultores.

Riesgo de heladas y ocurrencia de lluvias

Las decisiones productivas arriba mencionadas se basan en las percepciones de los agricultores sobre el incremento de la temperatura mínima (asumido como menor probabilidad de heladas, lo cual no necesariamente es verdadero) y la escasez de lluvias en la época de siembra. Las tendencias de las temperaturas mínimas promedio mensuales en la zona donde se ubica la Estación meteorológica de Patacamaya se muestran ascendentes en los meses de octubre y noviembre (figura 2), mientras que la precipitación muestra tendencias variables, con leves descensos en octubre y noviembre y un ascenso en diciembre (figura 3).

A pesar de que las figuras 2 y 3 sugerirían una mejora de las condiciones productivas por el ascenso de las Tmin, y poca tendencia de cambio en las lluvias durante los meses de siembra, estos promedios mensuales podrían esconder las variaciones diarias que particularmente dañan los cultivos y constituyen el proceso conocido como helada. Similarmente, la cantidad de lluvia acumulada en periodos de entre siete y 10 días es más importante para el cultivo que la cantidad total caída en un mes. Para evaluar comparativamente estos factores entre la situación del anterior siglo y la del presente, se dividió el registro en dos partes (1980-1998 y 1999-2016). En cada parte se realizó el siguiente análisis: a) para evaluar la probabilidad de heladas, en cada día del año se contabilizó el número de ocasiones en que la temperatura mínima descendió por debajo de cero en el registro histórico y se evaluó la probabilidad de helada para cada día; b) para evaluar la ocurrencia de lluvia, se utilizó el enfoque de sumas móviles, adicionando para cada fecha la lluvia acumulada los 10 días previos, luego obteniendo el promedio diario para cada parte del registro. Posteriormente, en cada caso se contabilizó la diferencia entre los datos de cada día de ambos periodos, la

Figura 3. **Tendencias lineales de los registros promedio mensuales de precipitación**



Elaboración propia.

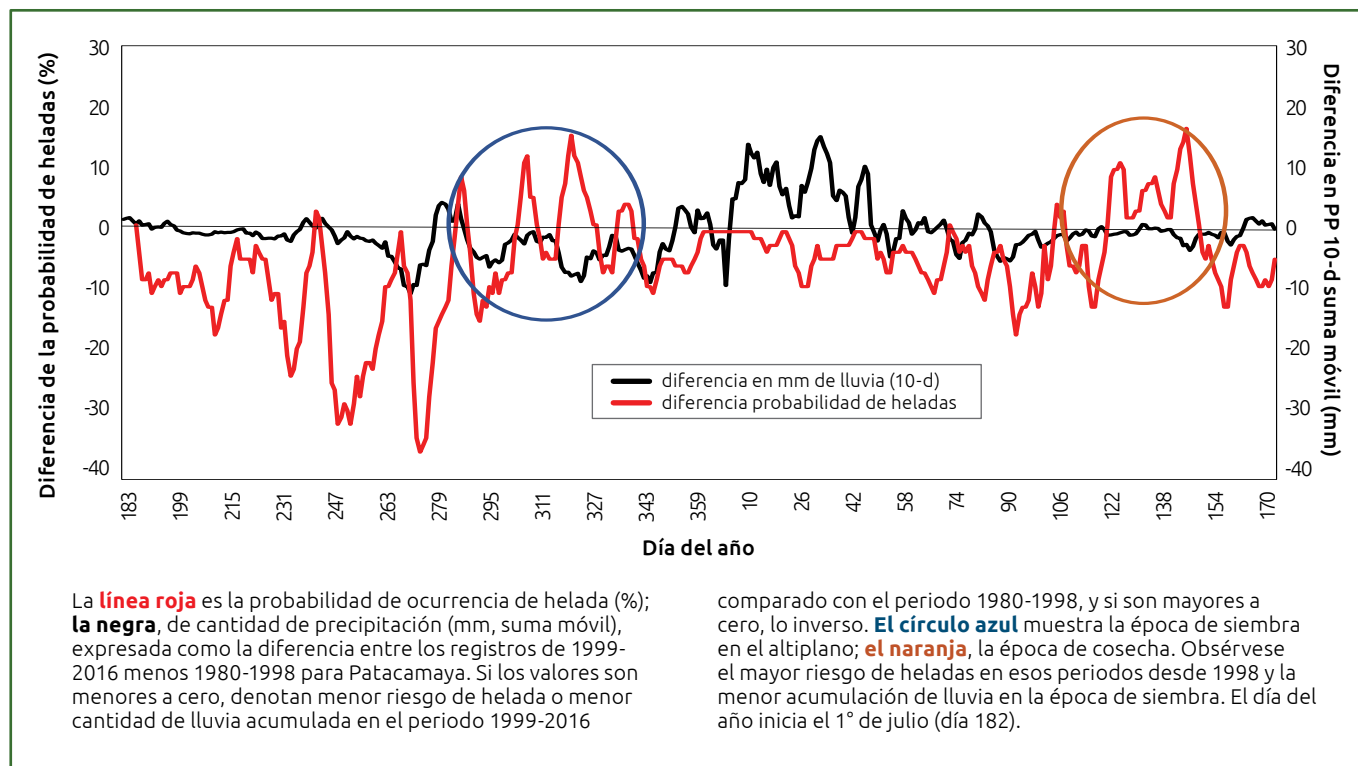
cual mostraría el cambio en la frecuencia de heladas y en la oportunidad de la precipitación.

La figura 4 integra la diferencia en probabilidad de heladas y en cantidad de lluvia caída en 10 días del 1° de julio al 30 de junio del siguiente año siguiendo el año agrícola de la zona entre los periodos mencionados arriba. Se percibe que, en los meses de julio a septiembre, la probabilidad de ocurrencia de heladas ha reducido significativamente, pero precisamente en el periodo tradicional de siembra (octubre y noviembre), esta se incrementa, es decir que hay mayor riesgo de helada desde 1999. Inversamente, la cantidad acumulada de lluvia en 10 días reduce significativamente entre octubre y noviembre y se incrementa claramente entre finales de diciembre y febrero en el periodo a partir de 1999.

Discusión

Desde las últimas décadas del anterior siglo, los agricultores altiplánicos han demostrado muy amplia flexibilidad de reacción en sus decisiones y su capacidad de rápida adaptación a entornos productivos que cambian gradual pero sostenidamente siguiendo el ritmo global. Es destacable que gran parte de la literatura que reporta las acciones de adaptación autónoma de los agricultores surge a partir de 2010, a pesar de que las acciones adaptativas se iniciaron ya a partir de los años 80, lo que muestra el reducido monitoreo de los sistemas agrícolas altiplánicos. Al presente, el sostenido incremento térmico entrega más información perceptiva a los productores, quienes la integran con los requerimientos del mercado y exploran la introducción innovadora de nuevos cultivos no tradicionales para las zonas donde producen, yendo más allá del cambio de variedades aplicado hasta inicios de la presente década. Sin embargo, la evaluación del cambio de la probabilidad de heladas y de la acumulación de precipitación en 10 días, demuestra que la decisión adaptativa hacia cultivos menos resistentes a las heladas (aunque más productivos y comerciales), podría incrementar la vulnerabilidad de los productores, debido a fuertes disminuciones o incluso pérdidas totales, en caso de la ocurrencia de un evento extremo. Desafortunadamente, la probabilidad de ocurrencia de fuertes heladas durante la época de siembra todavía existe y, combinada con un claro retraso en el inicio de la época de lluvias, podría afectar significativamente la producción global de las zonas, pues los cultivos introducidos son menos resistentes a la sequía y a las heladas, ya que provienen de zonas más benignas climáticamente hablando. Por otra parte, en caso de que se decida retrasar la siembra para reducir la exposición a las heladas (siembra tardía), la probabilidad de que los cultivos alcancen a cubrir sus requerimientos térmicos antes

Figura 4. Probabilidad de ocurrencia de helada (% rojo) y cantidad de precipitación acumulada en 10 días



Elaboración propia.

del inicio de las heladas otoñales es baja, cuando además se ha incrementado el riesgo de heladas. Entonces, la ventana productiva de los agricultores, aunque más benigna, es más corta, invitando a repensar estrategias productivas innovadoras pero riesgosas. La introducción de riego suplementario por técnicas ahorrativas de agua, como realizan algunos productores innovadores, se ve acertada ante el nuevo entorno climático y de mercado, pero debe ser apoyada.

Conclusiones

Aunque las decisiones productivas no pueden ser impuestas por normas externas a la realidad del altiplano boliviano, resulta evidente también que los agricultores requieren de apoyo externo que guíe o facilite el proceso de adaptación al cambio climático a través de pronósticos de corto plazo que denoten los riesgos a los que estará expuesto el sistema en caso de tomar cierta decisión. La sabiduría de los productores ante un entorno normalmente agreste, pero más aún bajo las condiciones del cambio climático, podría requerir mayor información y apoyo con estructuras e infraestructuras de soporte a las decisiones. La implementación de sistemas de riego podría ser complementada con sistemas locales de lucha contra las heladas, ya establecidos en otras latitudes y con buenos resultados, tales como estufas, ventiladores o protectores térmicos que se adecúen a la realidad local. Esto requiere de una intensa complementación de los agricultores con los sistemas de extensión, estatales o municipales que deben considerarse a futuro. ●

Magalí García

Proyectos Riesgos Climáticos y Manejo Antropogénico de Suelos, IIDEPROQ, Facultad de Ingeniería, UMSA.

Edwin Yucra

Proy. Riesgos climáticos. UMSA.

Jere Gilles

CAFNR. Universidad de Missouri.

Gavi Alavi

Proyecto Manejo Antropogénico de Suelos, IIDEPROQ, Facultad de Ingeniería, UMSA. Doctorante KULeuven.

Marlene Mamani

Proyecto Riesgos Climáticos. IIDEPROQ, Facultad de Ingeniería, UMSA.

Referencias

- García, M., Alavi, G., Yucra, E., Gilles, J., Borda, A., Rojas, K., Poma, A. y Aguilera, M. (2019). **Tendencias percibidas y evaluadas del cambio en el inicio de la época de lluvias y de la presencia de heladas súbitas en el altiplano boliviano**. En: García, M. y Guisbert, G. (Eds.), *Ciencias en diálogo: soluciones en la práctica. El trabajo de la Universidad Mayor de San Andrés para integrar saberes. Compendio de investigaciones y reflexiones de investigadores de la UMSA sobre saberes ancestrales*. La Paz: UMSA/DIPGIS/IIDEPROQ. https://www.researchgate.net/publication/338800960_CIENCIAS-EN-DIALOGO-DIPGIS_UMSA
- García, M., Yucra, E., Michel, T. y Callisaya, A., (2011). **Atlas agroclimático del altiplano boliviano**. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía.
- Orlove, B. S., Chang, J. C. H. y Canelik, M. A. (2000). **Forecasting Andean rainfall and crop yield from the influence of Pleiades visibility**. *Nature* 403, pp. 68-71.
- Taboada, C., García, M., Gilles, J. L., Pozo, O., Yucra, E. y Rojas, K. (2017). **Can warmer be better? Changing production systems in three Andean eco-systems in the face of environmental change**. *Journal of Arid Environments* 147, pp. 144-154. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.08.005>
- Valdivia C., Seth, A., García, M., Gilles, J. L., Jimenez, E., Yucra, E., Navia, F. y Cusicanqui, J. (2010). **Adapting to Climate Change in Andean Ecosystems: Landscapes, Capitals, and Perceptions Shaping Rural Livelihood Strategies and Linking Knowledge Systems**. *Annals of the Association of American Geographers*.