

## Escenarios de cambio climático y sistematización de tecnologías campesinas e innovaciones tecnológicas contra las heladas

### *Scenarios of climate change and systematization of peasant technologies and technological innovations against frost*

Willman García F., Mirko Delfín S., Mauricio Azero A.

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería, Universidad Católica Boliviana San Pablo, Calle M. Marquez esq. Parque J. Trigo A., Cochabamba

garciaw@ucbcha.edu.bo

**Resumen:** Las heladas tanto a nivel global como local, provocan disminución o pérdidas significativas en las cosechas en los cultivos altamente rentables como los frutales y cultivos anuales de seguridad alimentaria, afectando la economía familiar campesina. Para reducir el impacto de las heladas existen métodos pasivos que son ampliamente utilizados a nivel local por su bajo costo y métodos activos que son utilizados en otros países. Sin embargo, las experiencias locales y externas demuestran que es conveniente la combinación de ambos métodos para el mejor control y mitigación de las heladas. Los escenarios de cambio climático para la zona de Tiraque, Aiquile y San Benito, del departamento de Cochabamba, muestran que habrá un aumento de la temperatura lo que se traduciría en una disminución del riesgo de heladas en las zonas de análisis, sin embargo esto no condice con el análisis de la frecuencia de heladas que muestra que en los últimos 25 años las heladas se incrementaron.

**Palabras clave:** helada, cambio climático, escenarios de cambio climático, riesgo

**Abstract:** Frost both globally and locally result in significant crop declines or losses in highly profitable crops such as fruit trees and annual food security crops, affecting the peasant family economy. To counteract the impact of frost there are passive methods that are widely used locally for their low cost and active methods that are used in other countries. However, local and external experiences demonstrate that it is convenient to combine both methods for better control and or mitigation of frost. The climate change scenarios for the study area in Tiraque, Aiquile and San Benito, at Cochabamba department, show that there will be an increase in temperature which would result in a decrease in the risk of frost in the areas of analysis, however this does not match the analysis of the frost frequency that shows that in the last 25 years the frosts increased.

**Keywords:** frost, climate change, climate change scenarios, risk

## 1. Introducción

Debido a la heterogeneidad fisiográfica y climática, Bolivia es uno de los países más impactados por los efectos de la variabilidad y el cambio climático [1], los cambios significativos en el clima, afectan los componentes de los medios de vida, la seguridad alimentaria y los sistemas alimentarios. Ante esta situación, en la agenda política nacional se ha posicionado fuertemente en los últimos años la temática de reducción de riesgos de desastres y adaptación al cambio climático, con la participación en foros nacionales e internacionales sobre cambio climático y la promulgación de una nueva Ley de Gestión de Riesgos, N° 602 [2].

En las alturas y los valles de Cochabamba, la producción agrícola enfrenta problemas climáticos adversos, entre estos las heladas que provocan disminución o pérdida en las cosechas de los cultivos afectando la economía familiar campesina, situación que promueve que productores, instituciones públicas y privadas, académicas y la cooperación internacional, identifiquen, desarrollen e implementen medidas de prevención, mitigación y adaptación al daño de las heladas en los cultivos.

Técnicamente, la palabra “helada” se refiere a la formación de cristales de hielo sobre las superficies, tanto por congelación del rocío como por un cambio de fase de vapor de agua a hielo [3, 4, 5, 6].

Las heladas se definen en dos ámbitos: “advectiva” y “radiativa”. Las heladas de “advección” están asociadas con incursiones a gran escala de aire frío con una atmósfera con viento, bien mezclada y una temperatura que, a menudo, está por debajo de cero, incluso durante el día. Las heladas de “radiación” por otro lado están asociadas con el enfriamiento debido a la pérdida de energía por el intercambio radiante durante las noches despejadas y en calma, y con inversiones de temperatura [7, 8].

Por otro lado hay dos subcategorías de heladas de radiación, “helada blanca” ocurre cuando el aire está húmedo y el vapor de agua se deposita sobre la superficie de las plantas y forma una capa blanca de hielo que se denomina normalmente “escarcha”. Alternativamente, la “helada negra” ocurre cuando el aire es muy seco y la temperatura es menor que cuando hay helada blanca y esta cae por debajo de 0 °C y no se forma cristales de hielo sobre la superficie [9]. Las heladas blancas normalmente producen menos daño que las heladas negras.

Una congelación ocurre cuando el agua extracelular dentro de la planta se congela (cambia de líquido a hielo). Esto puede o no dañar el tejido de la planta, según los factores de tolerancia (contenido de solutos de las células). Un evento de helada se convierte en un evento de congelación cuando se forma hielo extracelular dentro de las plantas. El daño por congelación ocurre cuando la temperatura del

tejido de las plantas cae por debajo de un valor crítico donde hay condición fisiológica irreversible que conduce a la muerte o al funcionamiento incorrecto de las células de las plantas. Esta temperatura que produce el daño de los tejidos se correlaciona con las temperaturas del aire denominadas “temperaturas críticas”.

El daño por la helada se da cuando se forma hielo dentro del tejido de las plantas, dañando sus células. Puede ocurrir en las plantas anuales (cultivos para ensilado o forrajes de gramíneas y leguminosas; cereales; cultivos para aceite o de raíces; hortalizas; y cultivos ornamentales) multi-anales y perennes (árboles frutales caducifolios y de hoja perenne).

El “viento de pendiente” indica cómo crece en altura, a medida que desciende por la pendiente, desde el comienzo (cima) hasta la finalización de la misma (valle), pasando de una altura de centímetros, en el arranque de la pendiente, a una altura de casi tres metros a trescientos metros de dicho arranque. La consecuencia de la estratificación de la atmósfera sobre un suelo con topografía “con pendiente” es el desplazamiento del aire frío hacia las zonas más bajas de las cuencas. Y el daño producido por las heladas es mayor en las zonas bajas del terreno (valles) que en las zonas altas (cimas) (Figura 1):



Figura 1: Viento de pendiente en una ladera con vegetación. (Fuente: SIS Frost Protection)

Las hipótesis para explicar el daño por heladas sobre las plantas [10], son:

- **Hipótesis de Levitt - Disulfuro-sulfhidrido:** Ocurre oxidación de los grupos sulfhidrilos en las moléculas de proteína y se forman uniones de disulfuro entre las moléculas de proteína.
- **Hipótesis de la proteína y el casco de agua:** La alteración se produce por rotura de las uniones de hidrógeno entre el agua y las proteínas.
- **Hipótesis de Weiser sobre el agua vital:** Se requiere una cantidad mínima de agua líquida para mantener integridad estructural de la célula. Durante la congelación llega un punto donde la formación del hielo extracelular ha secado demasiado el citoplasma.

Las pérdidas en los cultivos como consecuencia de las heladas varían entre un 20 a 100% dependiendo de la intensidad de la helada, estado de desarrollo y tipo de cultivo. El año 2012, en los municipios de Cliza, Arbieto, Tarata, Punata, Arani y Toco del Valle Alto de Cochabamba, se produjeron pérdidas en las plantaciones de durazno en un 20%, afectando aproximadamente 450 hectáreas; asimismo el 70% de los manzanales plantados de manera experimental en huertas y fincas familiares fueron afectados por las heladas. Otros cultivos anuales como el maíz que estaba en etapa de maduración, quedaron totalmente destruidas por las heladas afectando al rededor 200 hectáreas; el cultivo de haba en plena etapa de producción fue afectado el 55% en 20 hectáreas. Se estimaba cosechar algo más de 90 hectáreas de papa Mishka (siembra de invierno), una variedad temprana (Desiree), pero se perdió el 35% de la producción.

A nivel mundial y local, se utiliza un amplio rango de tecnologías de protección contra las heladas, desde las simples hasta las más sofisticadas. Los factores más determinantes de su utilización dependen de la disponibilidad local y del costo. Cada método de protección debe considerarse por sus propios méritos y debería realizarse una evaluación económica para determinar si es o no efectivo desde el punto de vista de los costos. Naturalmente esto también requiere la disponibilidad de datos climáticos y disponer de ordenador que facilite el análisis de los datos.

Para determinar el impacto del cambio climático en el futuro, es necesario tener una idea de las concentraciones de gases invernadero y otros contaminantes en la atmósfera ante los cuales el clima es sensible en los años futuros [3].

Los modelos de clima son una importante herramienta para el estudio de los posibles escenarios climáticos [1]. En Bolivia, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua junto con el Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial y la Universidad de Nebraska en el marco del Programa Piloto de Resiliencia Climática (PPCR), desarrollaron el proyecto “Generación y evaluación de escenarios climáticos”. El mismo contó con un estudio de alta resolución y un enfoque Bayesiano, incorporando tendencias históricas climáticas de Bolivia para ajustar los modelos. En dicho estudio se han realizado una serie de simulaciones dinámicas de alta resolución (4 km) del cambio climático futuro entre el presente y el 2070 para Bolivia [11].

Actualmente, la plataforma consta de tres modelos en los cuales pueden realizarse las simulaciones de una gran variedad de parámetros climatológicos en alta resolución para Bolivia [11].

Modelo CCSM4-NCAR *Community Climate System Model* v.4 (EEUU)

Modelo MPI – *Max Planck Institute ECHAM model* (Alemania)

Modelo MIROC – *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (Japón)

Asimismo, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) plantea 4 escenarios asumiendo diferentes niveles de esfuerzo de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel global. En cada uno de estos escenarios se tendría diferentes impactos del cambio climático.

*RCP 2.6 Escenario de declinación:* Asume una reducción sustancial de las emisiones de GEI a lo largo del tiempo para lograr su forzamiento radiativo llega primero a 3.1 W/m<sup>2</sup> en 2050 y 2.6 para 2100. La temperatura probablemente no excede los 2°C.

*RCP 4.5 Escenario de estabilización:* El forzamiento radiativo se estabiliza un poco luego del 2100. La temperatura muy probablemente excede los 2°C.

*RCP 6.0: Escenario de estabilización:* El forzamiento radiativo se estabiliza un poco luego del 2100. Sin forzamiento gracias a la aplicación de varias tecnologías y estrategias de reducción de GEI. La temperatura probablemente excede los 2°C.

*RCP 8.5 Incremento de las emisiones de GEI a lo largo del tiempo:* La temperatura probablemente no excede los 4°C.

Bajo estas consideraciones del riesgo de heladas y su efecto en la producción agrícola en los Municipios de Aiquile, Tiraque y San Benito, del departamento de Cochabamba, Bolivia, el presente estudio, en el marco del diálogo de saberes tiene por objetivo analizar las tecnologías y prácticas campesinas e las innovaciones tecnológicas para hacer frente a las heladas.

## 2. Metodología

- a) **Estrategia de reducción de riesgos de desastres y adaptación al cambio climático:** Con base en acciones de participación por parte del estado y acciones de la comunidad se hace un análisis de la estrategia de intervención para la reducción de riesgos de las heladas.
- b) **Frecuencia de heladas:** El análisis de la frecuencia de heladas se realizó en base a los datos del historial climático (periodo 1955 a 2010) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).
- c) **Escenarios de cambio climático y heladas:** Para la construcción de escenarios de heladas, se empleó el Modelo MIROC – *Model for Interdisciplinary Research on Climate* (Japón) debido a que presenta mejor ajuste y correlación con los datos observados en el pasado, para proyectar una simulación en el periodo 2015-2066. Se tomaron en cuenta las temperaturas mínimas de los meses de Junio y Julio, donde las bajas de temperatura en el año son mayores.

Existen diversos tipos de escenarios propuestos para esta tarea. Uno de los más usados son los escenarios “Caminos de concentración representativa” (RCP

por sus siglas en inglés), basados en la asunción de factores económicos y de crecimiento poblacional. Los RCP disponibles son:

- RCP 2.6
- RCP 4.5
- RCP 8.5

RCP 2.6 se considera el efecto menos crítico, 4.5 moderado y 8.5 el efecto más crítico. Para este estudio se analizará los escenarios RCP de 2.6 y 8.5, debido a que RCP 4.5 no presenta cambios significativos con RCP 2.6.

- d) Medidas de reducción de riesgos de heladas:** Para sintetizar las percepciones locales, prácticas y tecnologías campesinas para mitigar las heladas en las alturas y valles, se realizaron visitas a parcelas productivas en campo y entrevistas a informantes clave (dirigentes y productores reconocidos por la comunidad) en tres cuencas de Cochabamba (Tapera en el Municipio de Aiquile, Kuyuj Khocha en el Municipio de Tarata y Chaupisuyo en el Municipio de Tiraque). Igualmente se entrevistaron a técnicos de entidades públicas, privadas y académicas. Por otro lado, las innovaciones tecnológicas a externos se sistematizaron en base a revisión de publicaciones sobre análisis de medidas para contrarrestar las heladas.

### 3. Resultados

**a) Estrategia de Reducción de Riesgos de Desastres y Adaptación al Cambio Climático (RRD/ACC)**

La estrategia de Reducción de Riesgos de Desastres y Adaptación al Cambio Climático (RRD/ACC) comprende dos dimensiones y escalas: **i)** RRD/ACC Programada, mediante el desarrollo de políticas, normativas y acciones por parte del Estado y **ii)** RRD/ACC Endógena, mediante la implementación de acciones de las Comunidades.

En el marco del diálogo de saberes, donde se complementan las tecnologías ancestrales como aporte del conocimiento local y las innovaciones tecnológicas como aporte del conocimiento científico, existe un área de interacción donde se identifican, seleccionan y priorizan la efectividad de “medidas” para prevenir y/o mitigar el efecto de las heladas (Figura 2).

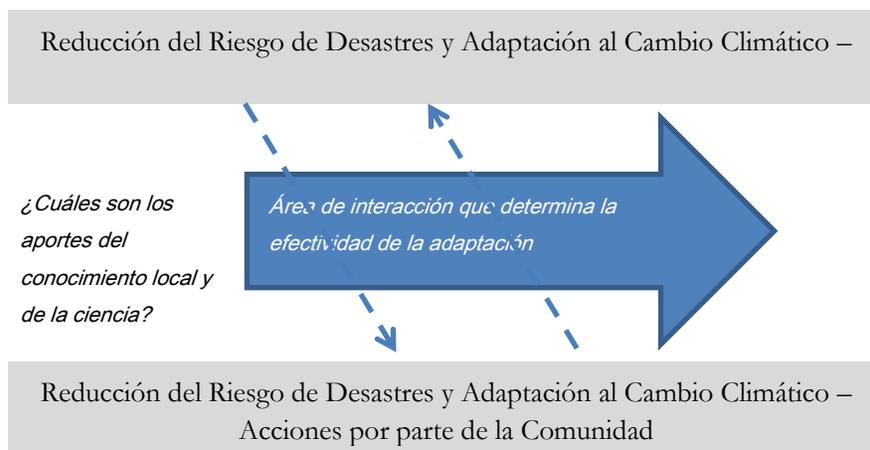
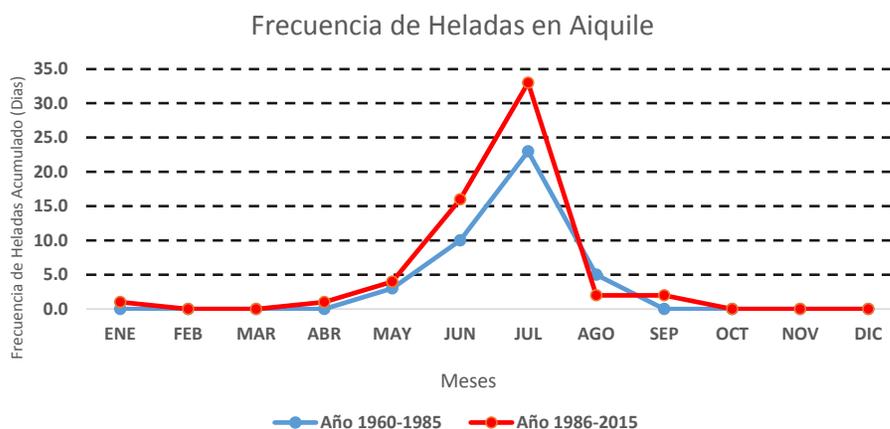


Figura 2: Estrategia de RRD/ACC para la prevención y/o mitigación de heladas

### b) Análisis de la frecuencia de heladas

Según el análisis histórico (1960-2015) de la frecuencia de heladas en los Valles de Aiquile, Tiraque y San Benito, los días con heladas en las últimas 3 décadas se han incrementado (Figura 3).



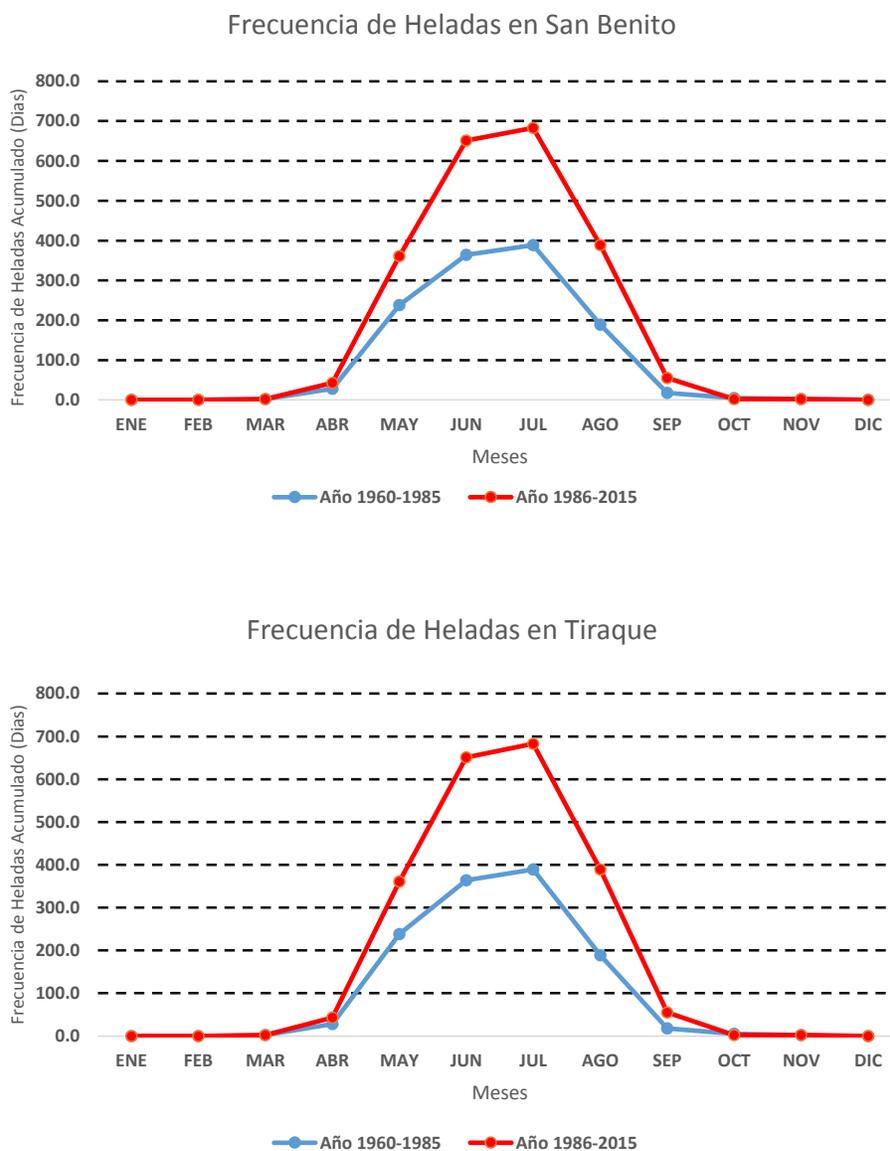
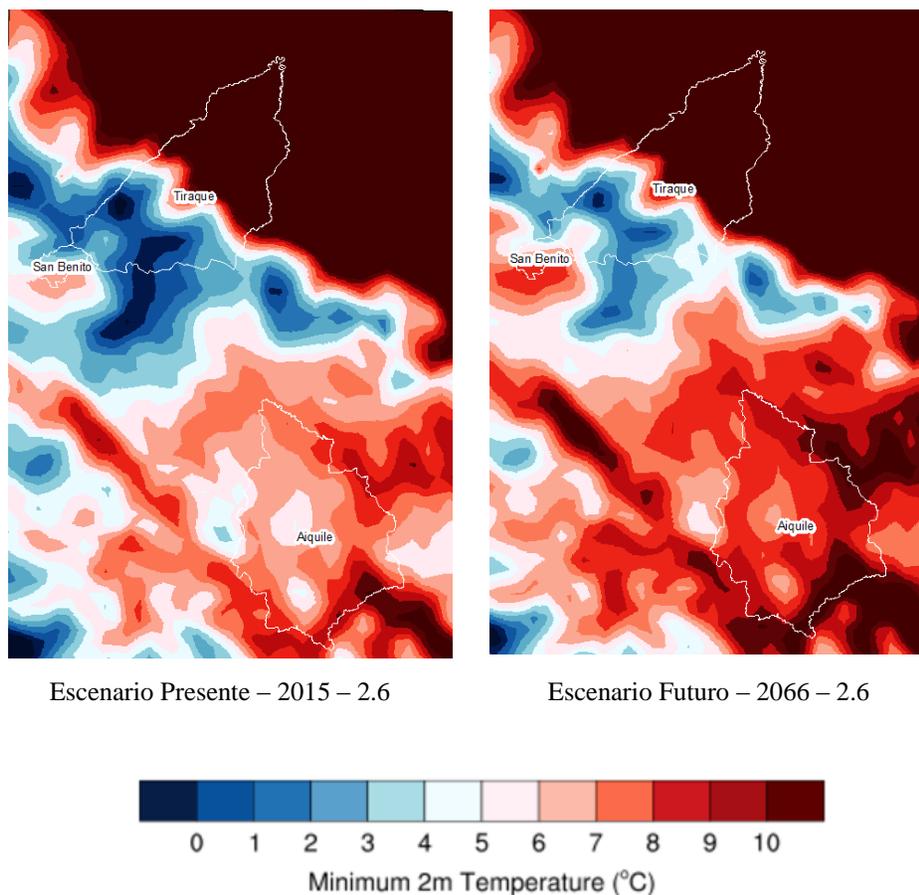


Figura 3: Comparación de la frecuencia anual de heladas (días) en: Aiquile, San Benito y Tiraque, en los periodos 1960-1985 (◆) y 1986-2015 (■). Fuente: elaboración propia en base a datos del SENAMHI.

**c) Escenarios de cambio climático y heladas**

Se hicieron las corridas para dos escenarios en los municipios de estudio, Escenario Actual 2015 y Escenario Futuro 2066- Modelo MIROC – Temperatura

Mínima. Las imágenes con **rozamiento** de 2.6 muestra que habrá un incremento de la temperatura al 2066 (Figura 4).



Escenario Presente – 2015 – 2.6

Escenario Futuro – 2066 – 2.6

Figura 4: Escenarios de clima y heladas (presente 2015 y futuro 2066) en los Municipios de a) Aiquile, b) Tiraque y c) San Benito. Fuente: elaboración propia.

Para el Municipio de Aiquile se observa una temperatura mínima promedio de 5 a 6 °C para el presente y un incremento aproximado de 2 °C hacia el año 2066.

Para el Municipio de Tiraque se observa en el presente una temperatura mínima promedio de 0 a 1 °C sobre todo en las partes altas y un incremento aproximado 1 °C hacia el año 2066.

Para el Municipio San Benito se observa en el presente una temperatura mínima promedio de 6 °C y existe un incremento aproximado de 1 °C hacia el año 2066.

En general el modelo muestra un aumento de temperatura tanto para el presente como para el futuro, lo que se traduciría en una disminución de los eventos de heladas en las zonas de análisis. Hay que entender como todo modelo climático tiende a subestimar algunas variables como es el caso de la temperatura. Sin embargo, lo importante es considerar el análisis como una medida de planificación en las zonas de interés.

Por otro lado, las corridas para dos escenarios en los Municipios de estudio, Escenario Actual 2015 y Escenario Futuro 2066– Modelo MIROC – Temperatura Mínima. Las imágenes con **rozamiento** de **8.5** (Figura 5), muestra los siguientes resultados.

Para el Municipio de Aiquile, se observa una temperatura mínima promedio de 1 a 2 °C para el presente, lo que muestra que el modelo es realista ya que las temperaturas modeladas y observadas presentan ese comportamiento, sin embargo existe un incremento de temperatura aproximado de 8 °C hacia el año 2066.

En el Municipio de Tiraque, se observa una temperatura mínima promedio de 0 grados, que igualmente es realista con el comportamiento en esos meses y hay un incremento aproximado de temperatura de 2 °C hacia el año 2066.

En el Municipio de San Benito se observa una temperatura mínima promedio de 3 °C en el presente y un incremento aproximado de 7 °C de temperatura hacia el año 2066 muy similar al anterior análisis.

En general el modelo es realista, donde, las temperaturas mínimas modeladas y observadas muestran el mismo comportamiento para el presente; sin embargo para el 2066 el modelo tiende a mostrar un comportamiento hacia un aumento de la temperatura (Figura 5).

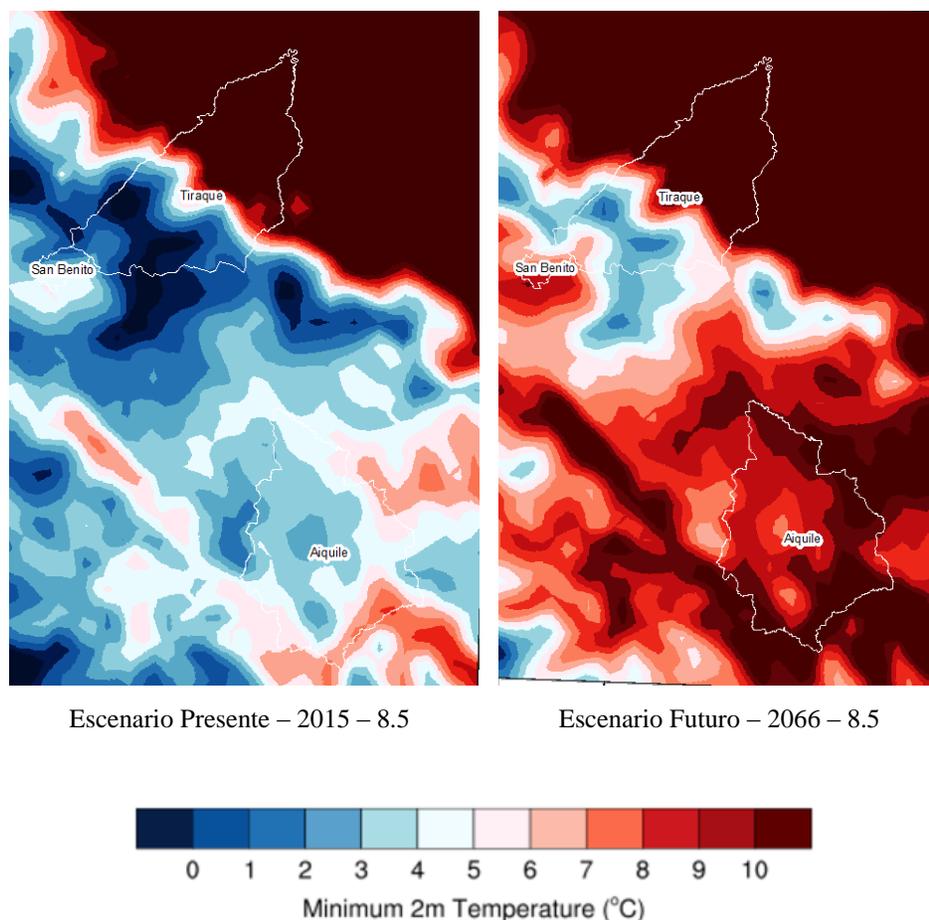


Figura 5: Escenario de Temperatura Mínima promedio para los Meses de Junio y Julio (presente 2015 y futuro 2066) en los Municipios de a) Aiquile, b) Tiraque y c) San Benito.

#### d) Medidas de reducción de riesgos de heladas

Las técnicas de protección contra heladas normalmente se dividen en métodos indirectos y directos [9], o en métodos pasivos y activos [8, 10].

Los **métodos pasivos** son los que actúan en términos de prevención, normalmente para un periodo largo de tiempo, se relacionan con técnicas biológicas y ecológicas, e incluyen prácticas llevadas a cabo antes de la helada para reducir el potencial de daño. Por otro lado, los **métodos activos** son temporales y requieren intensamente energía o trabajo, o ambos, se basan en métodos físicos e intensivos desde el punto de vista energético.

### Métodos pasivos:

Los **métodos pasivos** son a menudo más beneficiosos y efectivos desde el punto de vista del costo que los métodos activos [8,10]. Los siguientes métodos pasivos de protección son bastante utilizados:

- **Selección de emplazamiento:** Seleccionar lugares libres de heladas (por ejemplo las zonas superiores de las pendientes de una colina son mejores), evitar las hoyadas y lugares planos.
- **Selección de plantas:** Evitar el cultivo de especies o variedades susceptibles o sensibles a las bajas temperaturas, en zonas donde existen probabilidades muy altas de que ocurran heladas. Seleccionar variedades que son más tolerantes a las heladas.
- **Escapar el periodo de heladas:** Plantar una vez que la probabilidad de daño ha disminuido en la primavera o plantar tarde para evitar estadios sensibles durante los períodos de heladas.
- **Evitar el laboreo del suelo:** Evitar el uso excesivo del suelo ya que se forma una capa de suelo suelto, que actúa como aislante del calor que fluye desde las capas más profundas del suelo hacia la superficie.
- **Cubrir los cultivos:** Amontonar el suelo alrededor de los troncos de los árboles jóvenes.
- **Fertilizar el suelo:** Si se tiene cultivos en una zona de heladas, se puede mejorar la fertilidad del suelo, aplicando guano. Así se tendrán plantas fuertes y capaces de prevenir mejor los riesgos.
- **Fertilizar el follaje:** Si el cultivo ha sido afectado por la helada, aplicar abono foliar antes que salga el sol para ayudar a que la planta se recupere.
- **Plantar en ambientes protegidos:** Por ejemplo en invernaderos y trasplantar más tarde una vez que el tiempo está más cálido.
- **Pulverizar compuestos de cobre:** Para controlar las concentraciones de bacterias activas nucleadoras de hielo INA.
- **Pulverizar bacterias activas no nucleadoras de hielo NINA sobre los cultivos:** Para competir con las bacterias INA. Para pequeñas plantaciones y con una frecuencia de heladas baja, este podría ser un método de protección efectivo desde el punto de vista del costo.
- **Crear barreras físicas:** Por ejemplo paredes, arbustos y/o árboles para controlar el drenaje de aire frío.
- **Eliminar los obstáculos:** Que puedan causar el embolsamiento de aire frío.

### **Métodos activos:**

Los **métodos activos** de protección contra heladas son más efectivos cuando hay inversión de temperatura. En localidades con viento, son más probables las heladas de advección que las de radiación [8,10]. Los siguientes métodos activos de protección son utilizados:

- **Aplicación de riego:** El riego de inundación o por surcos es una opción en la mayoría de las partes del mundo si se dispone de agua de una manera oportuna. Esto permite aumentar la capacidad calórica del suelo y su conductividad térmica. El riego por inundación como protección fue destacado en México y Argentina.
- **Los aspersores sobre planta:** Se han utilizado para la protección de bananas en Chipre y para los arándanos, cítricos y plantaciones frutales de hueso en Argentina. Los aspersores sobre planta también se han utilizado sobre estacas (esquejes leñosos), cucurbitáceas, flores y papa en Zimbabwe.
- **Las técnicas de riego por debajo de las plantas:** Convencionales y micro aspersores se usan para la protección contra las heladas de los cítricos en Grecia.
- **Nebulizadores artificiales:** En Turquía hacen el uso de nebulizadores artificiales para la protección contra las heladas en cerezos, olivos y melocotoneros, y también se utilizan los nebulizadores en bananos en Chipre.
- **Realizar cortinas de humo, nubes o niebla:** Esto permite transferir el calor directamente a las plantas, considerando que el aire tiene una baja conductividad térmica.
- **Calentar el aire frío que rodea a la planta:** Ya que es el que provoca el enfriamiento de los vegetales. Uno de los métodos más utilizados es encender latas con un combustible (kerosene u otro) de 100 a 300 unidades por hectárea.
- **Uso de aspersores:** Los aspersores se utilizan a veces para la protección contra las heladas de cultivos anuales en el Valle del Rift en Jordania y en regiones montañosas.
- **Ventiladores que producen viento horizontal:** Se han utilizado para la protección de manzanos en México y de cítricos principalmente en naranjas dulces y mandarinos en la llanura Argolic de Grecia.
- **Ventiladores que producen viento vertical:** Fueron utilizados para los cítricos tanto en Grecia como en Uruguay.
- **Helicópteros:** Se han utilizado para la protección contra las heladas de las plantaciones de frutales de hueso en Argentina y viñedos en Uruguay.

Por otro lado, las percepciones locales sobre el clima y las heladas a través de entrevistas a informantes clave (dirigentes y productores reconocidos por la comunidad) en las cuencas Tapera en el Municipio de Aiquile, Kuyuj Khocha en el Municipio de Tarata y Chaupisuyo en el Municipio de Tiraque, en el departamento de Cochabamba, presentan los siguientes resultados.

### ¿Cómo está cambiando el clima en la zona?

Las lluvias son irregulares, hay menos precipitaciones que hace 30 o 40 años, existe un retraso de 1 a 2 meses en el periodo de inicio de lluvias (septiembre, octubre), las precipitaciones son más intensas en los meses de mayor frecuencia de lluvias (enero, febrero). Las temperaturas han incrementado, hace más calor que hace 30 años, hace más calor de día y más frío de noche.

### ¿Las heladas han aumentado o disminuido en la zona?

En los valles hay más heladas que hace 20 o 30 años, los meses de agosto y septiembre continúa helando, mientras que hace 20 años helaba solo hasta julio; las heladas ahora son muy variables y no se pueden predecir; la helada afecta mayormente en la parte plana pero los últimos años ha afectado también en las laderas.

### ¿Conocen algunos indicadores naturales para predecir las heladas?

Al atardecer el cielo se pone rojizo; aparecen nubes como humo; dos días antes aparecen nubes dispersas; alrededor del sol se pinta de todos colores; cuando los vientos fríos vienen del este o el sur es que va helar; cuando el tiempo está despejado sin nubes la probabilidad de heladas es alta; en tiempo de lluvia viene viento frío con llovizna para que caigan las heladas; ya no funcionan los indicadores porque ha cambiado el tiempo, antes se fijaban los indicadores ahora ya no.

### ¿Cómo está afectando el clima a los rendimientos de los cultivos?

Si la helada afecta dos veces al cultivo de papa cuando la planta está pequeña, ya no recupera la pérdida es total; si la helada afecta al cultivo cuando está en floración, la pérdida en el rendimiento es aproximadamente 50%. La helada también afecta a frutales como la chirimoya, la palta, el duraznero y el pacay.

Los **métodos pasivos y activos** que utilizan los productores (as) en los valles y alturas para contrarrestar las heladas en los frutales y cultivos anuales son los siguientes:

#### En frutales:

- **Humareda:** Se coloca leña de la poda y hojas en los cuatro extremos del terreno o campo de cultivo y luego se le prende fuego para mantener el ambiente caliente. Esto se hace durante los días que dura la helada. Se puede

usar latas de manteca como recipientes para quemar leña, pasto o aserrín con diesel.

- **Fogatas:** Prender pequeñas fogatas en diferentes lugares del huerto para generar calor que vaya disipar el aire frío que producen las heladas. Se pueden usar latas de manteca como recipientes para quemar leña, pasto o aserrín con diesel.
- **Bolsas con agua:** Día antes de la helada colocan bolsas blancas con agua al contorno del huerto (amarradas a las ramas de los árboles) para que este caliente en el día y libere calor en la noche.
- **Politubos de plástico con agua:** Se colocan politubos de diámetro 2 a 3 pulgadas en el contorno del huerto. Se hacen dos orificios entre plantas. El agua calienta durante el día y libera calor en la noche.
- **Mangas plásticas con agua:** Mangas de plástico transparente con agua son colocadas al contorno del huerto para que durante el día caliente el agua y por la noche mantenga la temperatura.
- **Barreras rompevientos:** Algunos productores del Valle alto colocan barreras vivas como cortinas rompevientos, con especies como pino, pacay, molle, eucalipto, y otras, para proteger de las heladas a los huertos de frutales.
- **Riego:** En huertos frutales, se debe regar durante el periodo de helada para mantener húmedo el suelo favoreciendo el movimiento de la savia en las plantas.

Recomendaciones y/o prácticas complementarias para prevenir o mitigar el efecto de heladas en **frutales** como el duraznero y otros cultivos comerciales son:

- **Identificar zonas con riesgo de heladas:** Zonificar las zonas con diferentes probabilidades de riesgo de heladas.
- **Monitoreo climático:** Fortalecer el monitoreo climático para establecer el historial y detección temprana de riesgo de heladas con la instalación de equipos climáticos en zonas productoras de frutales.
- **Sistema de Alerta Temprana:** Funciona con redes meteorológicas y mensajes de texto por celular. Los mensajes climatológicos deben ser dos veces por día, a las 6 de la mañana y 6 de la tarde. Incluye mensajes de alerta temprana a las heladas con una anticipación de 12 horas
- **Extractor de aire frío:** Efectúa una extracción selectiva de las capas de aire más denso (más frío) que se acumula en lugares bajos y lo expulsa a la atmósfera a unos 25 a 50 m. Eleva la temperatura del medio ambiente, protege 2,5 a 3 ha. En gestiones pasadas se instaló un extractor de aire frío en la Estación Experimental San Benito en el Valle Alto de Cochabamba.

- **Variedades de floración tardía:** Establecer variedades de floración tardía que salgan del periodo de riesgo de las heladas.
- **Fondo de transferencia de riesgo:** Funciona como un seguro para proteger el cultivo de duraznero contra las heladas, granizadas y sequía [12].
- **Parcelas demostrativas:** Implementar parcelas demostrativas de control de heladas con diferentes técnicas, difundir los resultados y entrenar y capacitar a los productores.

#### En cultivos anuales:

- **Riego:** En cultivos anuales como la papa funcionan los aspersores por dos horas entre las 4 y 5 de la mañana para proteger de las heladas, logra escarchar pero no quema las plantas.
- **Humedecimiento del suelo:** Día antes de la helada humedecer el suelo para que mantenga el calor o regar inmediatamente después de ocurrida una helada y aplicar abonos foliares nitrogenados.
- **Siembra de papa amarga:** El cultivo de papa amarga (*Solanum juzepczukii*, *Solanum curtilobum* y *Solanum ajbauiiri*) es tolerante a las heladas (-1 a -3° C por 2 horas) y merece una atención especial.
- **Aporque alto:** Cuando los tubérculos han brotado y el anochecer anuncia helada, se procede al tapado con tierra y rastrojos las plantas brotadas a modo de aporque. De esta manera se controla las heladas en los cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), papalisa (*Ullucos tubersus*), oca (*Oxalis tuberosa*) e isaño (*Tropaeolum tuberosum*). Las plantas tapadas emergen a uno o dos días.
- **Ceniza:** Apenas brotan las plántulas se debe echar ceniza por el surco a toda la planta, se debe echar cada vez que cae helada hasta que las plantas están de 20-30 cm de altura ya que después de esta altura el daño causado por la helada es más leve.
- **Piedras:** El cheje es una especie de ruma de piedras, pero construidas a propósito en el interior de las plataformas de los andenes. En la parte exterior se colocan piedras grandes formando un círculo y en el interior se llenan con piedras pequeñas. Durante el día las piedras grandes y pequeñas absorben calor y durante la noche sueltan el calor almacenado calentando el lugar, de esta manera evitan la caída de las heladas.
- **Indicadores naturales:** Se utilizan para predecir las heladas en algunas zonas por los agricultores (as), se agrupan en indicadores físico-atmosféricos, zoo-indicadores, indicadores astronómicos, fito-indicadores y otros [14, 15, 16].

Recomendaciones y/o prácticas complementarias para prevenir o mitigar el efecto de heladas en **cultivos anuales** como la papa y otros son:

- **Elección del terreno de siembra:** Conocer antecedentes de heladas en la zona. En las zonas altas elegir terrenos ubicados en ladera y evitar suelos localizados en “pampa” o en “hoyadas”.
- **Oportunidades de siembra:** Sembrar en la época en que la ocurrencia de heladas no coincida con periodo de pleno crecimiento de las plantas de papa.
- **Elección de la variedad:** Elegir las variedades más tolerantes (por ejemplo las papas amargas) en lugares de alta probabilidad de heladas. Elegir variedades tardías en caso de siembra temprana, debido a su mayor capacidad de recuperación o elegir variedades precoces en caso de siembra tardía para escapar a las heladas.
- **Diversificación de la producción:** Para conservar la diversidad genética, garantizar la seguridad alimentaria y enfrentar a las heladas, establecer siembras de policultivos (diversidad de especies) y mezcla de variedades nativas.
- **Siembra escalonada:** Para escapar a las heladas y asegurar la producción, realizar siembras escalonadas en diferentes fechas.
- **Manejo de pisos ecológicos:** Establecer los cultivos en diferentes pisos altitudinales o ecológicos, para garantizar la producción en caso de heladas.
- **Laboreo del suelo:** No aflojar el suelo los días de heladas para evitar escapar la energía calórica almacenada en el día.
- **Abonamiento y fertilización:** Incrementar la cantidad de abonos orgánicos (guanos). Incrementar la dosis de potasio. Aplicar abonos foliares después de la helada.
- **Distanciamiento de siembra:** Los surcos deben estar más distanciados y deben seguir la dirección del viento.

Las experiencias locales en Valle Grande [18] muestran que la combinación de medidas tiene resultados positivos, por ejemplo, combinar sistemas de alerta temprana a través del envío de mensajes de texto por celulares, fogatas en latas, humeo, riego por aspersión y mangas plásticas con agua. Por tanto, es importante la combinación de métodos pasivos y activos para mitigar el efecto de las heladas en los frutales y cultivos anuales [18].

#### 4. Conclusiones

La frecuencia de heladas en los valles muestra que en los últimos 25 años los días con helada se han incrementado.

Los escenarios de cambio climático actual 2015 y futuro 2066 con razonamiento 2.6 y 8.5 muestran un aumento de la temperatura lo que se traduciría en una disminución del riesgo de heladas en las zonas de análisis.

Los productores señalan que hoy en día las heladas son impredecibles, se presentan en periodos o épocas donde no se presentaban antes, son más intensas y los daños en la producción de los frutales y cultivos anuales son mayores.

De acuerdo a la zona (alturas o valles) y las costumbres locales, los productores utilizan principalmente métodos pasivos de control y/o mitigación de heladas. Los métodos activos son utilizados principalmente en cultivos comerciales altamente rentables como los frutales.

En el marco del dialogo de saberes, es fundamental la revalorización de las tecnologías y prácticas campesinas y la combinación con innovaciones tecnológicas, para el control y/o mitigación de las heladas que afectan a los frutales (cultivos de alta rentabilidad) y cultivos anuales (cultivos de seguridad alimentaria).

## Referencias Bibliográficas

- [1] Andrade *et al.*, 2010. “La Dinámica del Cambio Climático en Bolivia”, Fundación INESAD
- [2] Ley N° 602 de Gestión de Riesgos. Ministerio de Planificación de Desastres. Estado Plurinacional de Bolivia.
- [3] Blanc, M.L., Geslin, H., Holzberg, I.A. y Mason, B. 1963. Protection against frost damage. WMO, Technical Note, No. 51. Geneva, Switzerland. 62p
- [4] Bettencourt, M.L. 1980. Contribuição para o estudo das geadas em Portugal Continental. In: O Clima de Portugal, Fasc. XX. Lisboa: I.N.M.G.
- [5] Mota, F.S. 1981. Meteorología Agrícola. 5th ed. São Paulo, Brazil: Liv. Nobel.
- [6] Cunha, F.R. 1982. O problema da geada negra no Algarve [in Portuguese]. INIA Divulgação No. 12. 125p.
- [7] Snyder, R.L., Paw U, K.T. y Thompson, J.F. 1987. Passive frost protection of trees and vines. University of California DANR Leaflet No.21429.
- [8] Kalma, J.D., Laughlin, G.P., Caprio, J.M. y Hamer, P.J.C. 1992. Advances in Bioclimatology, 2. The Bioclimatology of Frost. Berlin: Springer-Verlag .144p.
- [9] Estrada R., N. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. Cap XVIII Factores abióticos. 372 p.
- [10] Burke, M.J., Gusta, L.V., Quamme, H.A., Weiser, C.J. y Li, P.H. 1976. Freezing and injury in plants. Annual Review of Plant Physiology, 27: 507–528.

- [11] Oglesby, R. y Rowe, C. “Climate Impacts for Bolivia: Results From IPCC AR5 Global and Regional Climate Models”, La Paz, Bolivia, [http://weather.unl.edu/RCM/Bolivia/workshop/Bolivia-public\\_presentation\\_final\\_spa.pdf](http://weather.unl.edu/RCM/Bolivia/workshop/Bolivia-public_presentation_final_spa.pdf)
- [12] Bagdonas, A., Georg, J.C. y Gerber, J.F. 1978. Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. World Meteorological Organization Technical Note, No. 157. Geneva, Switzerland. 160p.
- [13] Snyder, R.L. y de Melo-Abreu, P. 2010. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Vol 1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. 241 p.
- [14] Programa de Integración de Mecanismos de Reducción de Reducción de Desastres y Gestión de Riesgos. 2006a. Conozcamos y aprendamos de los bioindicadores naturales. Proyecto estrategias locales para la gestión de riesgos en la producción agrícola en el altiplano paceño. 15 p.
- [15] Programa de Integración de Mecanismos de Reducción de Reducción de Desastres y Gestión de Riesgos. 2006b. Sistematización de fichas de indicadores locales para la prevención y gestión local de riesgos en la producción agropecuaria. Proyecto gestión de riesgos en los municipios de Cercado y Sipe Sipe “afectados por el Parque Nacional Tunari”. 43 p.
- [16] Programa de Integración de Mecanismos de Reducción de Reducción de Desastres y Gestión de Riesgos. 2006c. Observemos nuestros indicadores para obtener mejores cosechas. Proyecto estrategias locales para la gestión de riesgos en la producción agrícola en el altiplano paceño. 12 p.
- [17] Programa de Reducción del Riesgo de Desastres en Bolivia. 2010. El seguro como instrumento financiero para la reducción del riesgo de desastres en la producción agrícola. Sistematización del proyecto. En: Carpeta de materiales e instrumentos para la reducción del riesgo de desastres de la fase II. 30 p.
- [18] GUTIERREZ. V, 2010. Informe del estudio de adaptación al cambio climático del complejo agroalimentario del durazno en Vallegrande. GIZ. 14 p.