

LOS RIESGOS DE HELADA EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

Ph. LE TACON¹, J.J. VACHER¹, M. ELDIN¹, E. IMAÑA²

1: ORSTOM, C.P. 9214, La Paz-Bolivia

2: SENAMHI, C.P. 10993, La Paz-Bolivia.

I. INTRODUCCION

Las crónicas del siglo XVI y XVII, recalcan ya la importancia de las heladas, como un factor limitante de la producción agrícola. La influencia de estas sobre el rendimiento de los cultivos y en particular para la papa, está corroborada por las afirmaciones de los campesinos, las observaciones de los técnicos y algunos trabajos científicos (Frere et al., 1975; Vacher et al., 1988).

Sin embargo, a pesar de su importancia, en el Altiplano Boliviano, aún no existe un análisis preciso de las heladas y de su influencia en la agricultura. Por eso este tema fué considerado como principal del estudio agroclimatológico del Altiplano Boliviano. En el presente trabajo serán presentados los primeros resultados sobre intensidad, heterogeneidad espacial (regional y local) y riesgos de heladas, también se darán factores explicativos de la ocurrencia de heladas.

II. INTENSIDAD Y HETEROGENEIDAD ESPACIAL DE LOS RIESGOS DE HELADAS

1. Análisis Frecuencial de los Riesgos de Heladas

En el Altiplano, el desarrollo vegetativo de muchos cultivos, corresponde al periodo entre la última helada de primavera y la primera helada de otoño. Este periodo libre de heladas varía mucho según la sensibilidad de los cultivos y de las variedades. Es por esta razón que se ha escogido un cultivo de estudio que sea de gran importancia en la zona, tal es el caso de la papa dulce (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*) y la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd).

Según la bibliografía (Ventskevitch, 1958; Li y Palta, 1978) y la experiencia de campo, se ha admitido, para la variedad Sani Imilla (variedad muy divulgada en el Altiplano) una destrucción de la planta a -3 °C, durante el crecimiento vegetativo hasta la floración y a -2 °C después de la floración. Para la quinua se admite una temperatura límite de -5 °C (sin embargo, existen variedades de quinua que resisten a temperaturas mucho más bajas en estado de plántula).

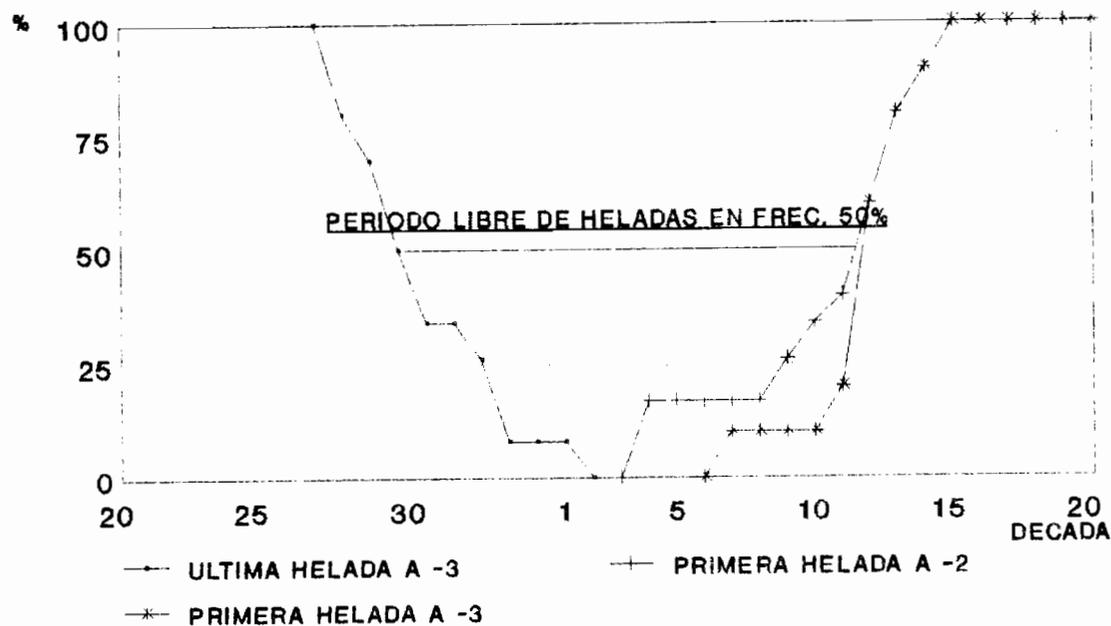
Para el análisis frecuencial de los riesgos de heladas, se utilizaron los datos diarios de 15 años de registros (1973-1988) de 14 estaciones del Altiplano Norte y Central del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Según 4 años de datos diarios de temperaturas mínimas a 1,50 m. y a 0,35 m., de dos estaciones meteorológicas automáticas del Altiplano. Se consideró una diferencia promedio de 1 °C entre la temperatura mínima en la caseta y a nivel del cultivo.

Se determinó el riesgo de helada con un análisis frecuencial de la ocurrencia de una temperatura inferior a la temperatura límite, por un periodo de 10 días. La Figura 1, representa la frecuencia de la primera helada (curva derecha) y la última helada (curva izquierda), por décadas para el cultivo de papa en la estación de Viacha (30 km. al sur de La Paz).

Se observa muy nítidamente la intensidad del riesgo de helada. Solamente 20 días al año están exentos de este riesgo. El periodo libre de heladas, con un riesgo de 25 % se reduce a 100 días, en el caso de riesgo de 50 % es de 100 días. Sabiendo que el ciclo de la papa, después de la emergencia es de 135 días, este cultivo tiene, en esta estación, una probabilidad de más del 30 % de que su desarrollo sea interrumpido por una helada. Considerando que un año de cada cinco el periodo libre de heladas puede ser inferior a 100 días, puede también ser superior a 200 días. Esta gran variabilidad interanual, dificulta la adaptación de estrategias agrícolas.

La diferencia de frecuencia en el otoño, entre una helada a -2 °C y una helada a -3 °C, subraya el interés de investigar técnicas de lucha, aunque sencillas, que podrían hacer elevar las temperaturas mínimas en 1 °C, lo que permite ampliar notoriamente el ciclo del cultivo.

Figura 1. Frecuencia de heladas para el cultivo de la papa en Viacha



2. Heterogeneidad Regional de los Riesgos de Heladas

Los riesgos de heladas son muy intensos en el Altiplano boliviano, sin embargo presentan, una gran heterogeneidad regional, como lo muestran el Cuadro 1 y la Figura 2.

Según un gradiente Norte-Suroeste de aumento de heladas y según la influencia del lago Titicaca, se diferencian 4 grupos de estaciones (Vacher e Imaña, 1989).

Grupo 1: Estación de Copacabana. Para esta estación, situada en el borde del lago Titicaca, los riesgos de heladas son casi inexistentes, lo que permite sembrados muy precoces, esta influencia del lago es muy localizada (Vacher *et al.*, 1991).

Grupo 2: Estaciones de Tihuanacu, Oruro, Caracollo, Patacamaya, Viacha, Huarina, Collana y El Alto. Para estas estaciones la papa tiene 1 posibilidad entre 2 de terminar normalmente su ciclo, y la quinoa tiene 6 posibilidades entre 10. El período libre de helada, uno de cada dos años para la papa, se sitúa alrededor de 130 días y 1 año sobre 3 hiela en el mes de febrero.

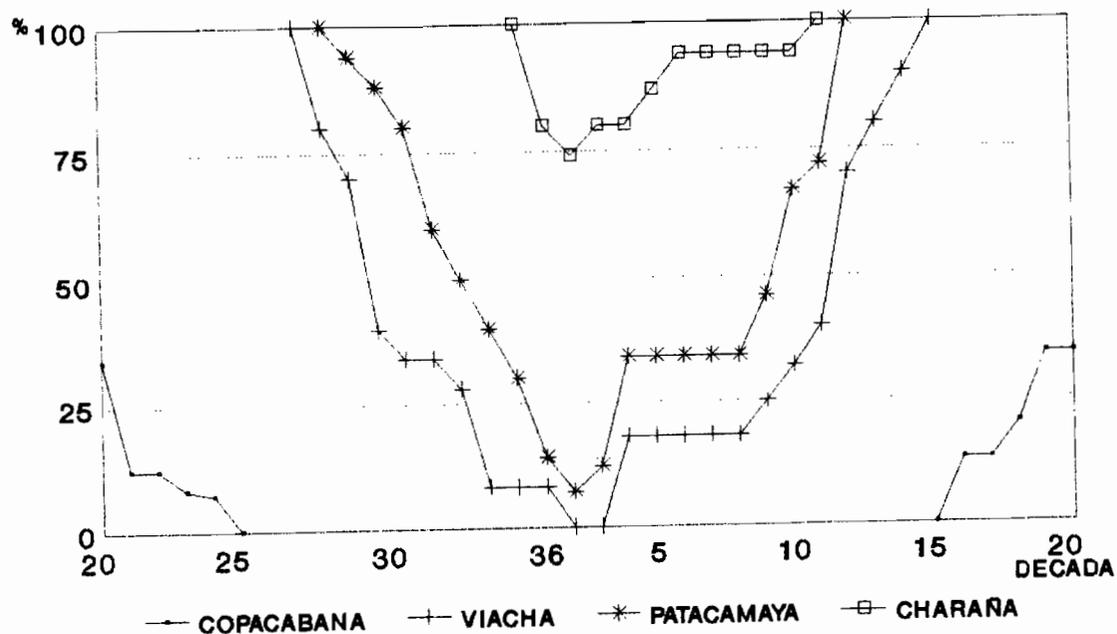
Grupo 3: Estaciones de Belén, Comanche, Ayo-Ayo, Calacoto. Para estas estaciones la actividad agrícola es muy arriesgada. La duración del período libre de helada para la papa, 1 año entre dos es alrededor de 60 días. Si bien Comanche, Ayo-Ayo y Calacoto son estaciones del Altiplano central, El Belén a pesar de su ubicación en la cercanía del lago, tiene temperaturas muy bajas que muestran riesgos elevados de heladas debido a la proximidad de la cordillera. Sin embargo el efecto negativo es menor, por la humedad reinante que aminora el daño a los cultivos.

Grupo 4: Estación de Charaña. El período promedio libre de helada para la papa se ha reducido a 2 días! La agricultura aquí es casi imposible si no es en condiciones muy protegidas.

Cuadro 1 : Características de diferentes estaciones del Altiplano.

ESTACION	P90	P120	Q150	P50%
AYO-AYO	20	10	25	56
CALACOTO	45	15	62	65
CARACOLLO	75	60	55	124
CHARAÑA	7	0	55	2
COLLANA	85	85	92	174
COMANCHE	20	7	40	49
COPACABANA	100	100	100	360
EL ALTO	90	72	92	160
EL BELEN	40	25	35	58
HUARINA	77	65	65	153
ORURO	70	40	50	109
PATACAMAYA	62	45	70	114
TIHUANACU	60	45	55	113
VIACHA	82	70	82	164

P90: Probabilidad de tener 90 días libres de heladas para la papa.
P120: Probabilidad de tener 120 días libres de heladas para la papa.
Q150: Probabilidad de tener 150 días libres de heladas para la quinua
P50%: Promedio de días libres de heladas para la papa.

Figura 2. Frecuencia de heladas para el cultivo de la papa en 4 estaciones del Altiplano.

3. Heterogeneidad Local de los Riesgos de Heladas

Las temperaturas mínimas fueron analizadas en diferentes parcelas de agricultores en la comunidad de Antarani (80 km al sur de La Paz) durante la campaña agrícola 1988-1989. Se observaron diferencias marcadas de riesgos de heladas según la posición topográfica y el tipo de suelo. Parcelas ubicadas en la pendiente, mostraron temperaturas mínimas de 3 a 7 °C más elevadas que las de las parcelas de pampa. De las 70 parcelas estudiadas, la posición topográfica, explica el 50 % de las variaciones de temperatura mínima.

La comunidad de Antarani, presenta una gran diversidad de suelo, desde suelos muy arenosos, pedregosos hasta suelos limosos y arcillosos. Las diferencias de temperaturas mínimas observadas entre los suelos franco arenosos muy pedregosos (los más calientes) y los suelos arenosos limosos (los más fríos) son de 1 a 2 °C. Es interesante notar la concordancia que existe entre las temperaturas mínimas y la clasificación de suelos de los campesinos según los riesgos de heladas.

Esta importante heterogeneidad local de los riesgos de heladas, es muy conocida y utilizada por los campesinos. Las fechas de siembra y las variedades de papa varían según las características "frías" de las parcelas.

4. Factores Explicativos de la Ocurrencia de una Helada

Las Figuras 3 y 4, representan las relaciones entre la temperatura mínima, el balance radiativo nocturno (Rn) y la Humedad Relativa del día anterior. Estas Figuras se basan en el análisis de datos de 660 noches, durante la estación de cultivo desde 1986 hasta 1991. Se calcularon los promedios e intervalos de confianza para 5 rangos de temperatura. La observación de las Figuras conduce a los siguientes comentarios:

- Las heladas en el Altiplano, son principalmente de origen radiativo, el aumento del déficit radiativo nocturno (Rn), corresponde a una disminución de la temperatura mínima.
- La Humedad Relativa nocturna y mínima del día anterior, están muy relacionadas con la temperatura mínima. La disminución de la Humedad Relativa, corresponde a un aumento del déficit radiativo nocturno por una disminución de la radiación atmosférica y una disminución del aporte de energía por condensación del vapor de agua.

El análisis de los datos meteorológicos muestra que la ocurrencia de heladas, durante la época agrícola se produce con una disminución notable y muy rápida de las temperaturas mínimas. Se observan diferencias de 3 a 6 °C en la temperatura mínima de un día al otro. Estas variaciones de gran amplitud, corresponden a advecciones de aire seco provenientes del Sur Oeste. Estas relaciones entre heladas y movimientos regionales del aire podrían, talvez permitir una predicción de heladas a mediano plazo y desarrollar así métodos efectivos de lucha.

3: Relación entre Tmin., Rn noct. y H.noct para Patacamaya.

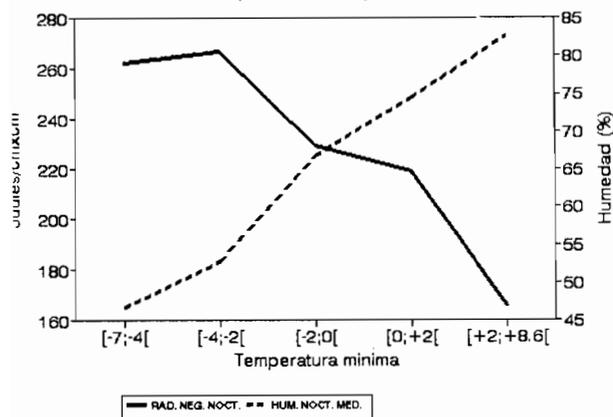
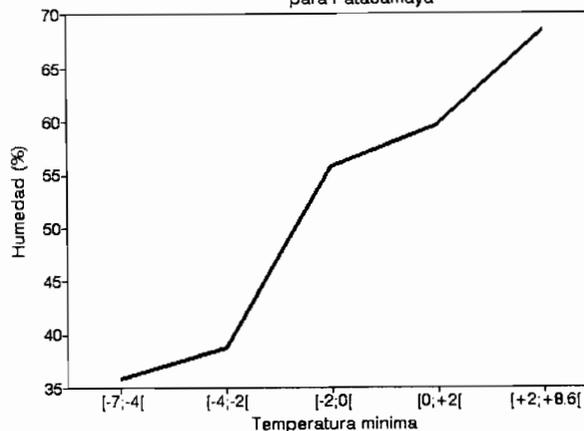


Fig. 4: Relación entre Tmin. y H.med. del día-1 para Patacamaya



II. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mostraron la importancia y la intensidad de los riesgos de heladas en el Altiplano Boliviano, con una gran heterogeneidad. La amplitud de la variación local de las temperaturas mínimas, debida principalmente a la posición topográfica y al tipo de suelo de las parcelas, permiten al agricultor dispersar los riesgos de heladas. Esta heterogeneidad local, conduce a considerar las informaciones de las estaciones meteorológicas, como datos de referencia a nivel regional, pero no representativos de todo el espacio agrícola cercano. El uso de la información de las imágenes infrarrojas nocturnas del Satélite NOAA, permitirán precisar la heterogeneidad espacial de los riesgos de heladas.

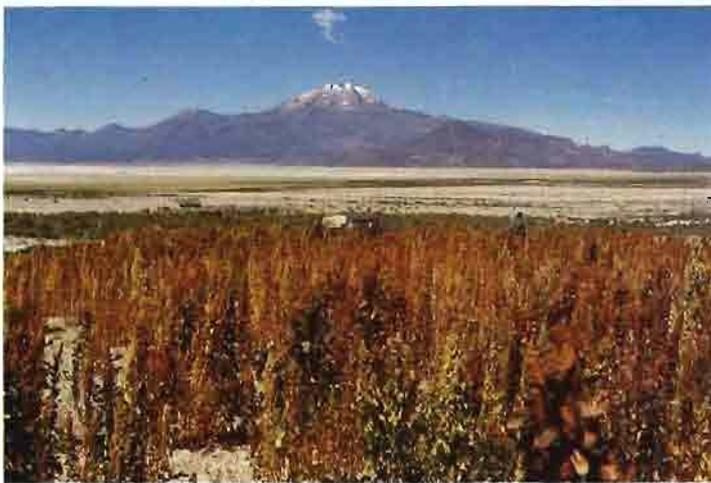
Las heladas en el Altiplano, son principalmente de origen radiativo, el déficit radiativo nocturno, está muy relacionado con la temperatura mínima. Sin embargo, la ocurrencia de estas heladas radiativas, corresponden a advecciones de aire seco. los riesgos de helada en el altiplano boliviano

IV. BIBLIOGRAFÍA

- CELLIER P. : 1982 - Contribution à la prévision des températures minimales nocturnes en condition de gelées de printemps. Etude de l'évolution des températures de l'air et du sol au cours de la nuit. Thèse de docteur-ingénieur INAPG, Paris, 138 p.
- COBO B.: 1953 - Historia del nuevo mundo, Ed. Biblioteca de los autores españoles, Madrid 1956, vol 1, pp 66-81.
- FRERE M. et al: 1975 - Estudio agroclimatológico de la zona andina. Proyecto institucional FAO/UNESCO/OMM en agroclimatología, Roma, 375 p.
- LE TACON Ph.: 1989 - Manifestation des risques climatiques à l'échelle de l'exploitation agricole, conséquences sur les pratiques paysannes - cas de l'altiplano bolivien. Mémoire d'étude ENSSAA, CNEARC, Dijon, France, 130 p.
- LI P. y PALTA J.P.: 1978 - Frost hardening and freezing stress in tuber-bearing *Solanum* species. In: LI y SAKAI (ats). Plant Cold Hardiness and Freezing Stress. New York, U.S.A., 49-71.
- RONCHAIL J.: 1989 - Advecciones polares en Bolivia: caracterización de los efectos climáticos, Bull. Fr. Et. And., XVII, 1, 49-56.
- VACHER J.J.: 1988 - Agroclimatología del altiplano, informe final., tomo 2 Ed. ORSTOM, Paris.
- VACHER J.J., LIBERMAN M., y DE THUY E.,: 1991 - Influencia del Lago Titicaca en la agricultura litoral In: Estudios del Lago Titicaca. En impresión.
- VENTSKEVICH G. Z.: 1958 - Agrometeorology. Translated from russian by the Israel Program for Scientific National Science Foundation OTS 60-51044, 1961.

ACTAS DEL
VII CONGRESO
INTERNACIONAL
SOBRE CULTIVOS
ANDINOS

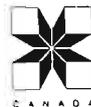
LA PAZ BOLIVIA 4 AL 8 DE FEBRERO DE 1991



EDITORES: D. MORALES Y J.J. VACHER



CRSTOM



ACTAS DEL VII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CULTIVOS ANDINOS

La Paz - Bolivia, 4 al 8 de febrero

Editores

D. Morales y J.J. Vacher

IBTA

INSTITUTO BOLIVIANO DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

ORSTOM

L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE
DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

CIID-Canada

CENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

La Paz, 1992