PROYECTO: ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN COMUNIDADES ANDINASBOLIVIANAS QUE DEPENDEN DE GLACIARES TROPICALES

ANEXO AL INFORME FINAL

Nordic Climate Facility

La Paz, Bolivia

“ANALISIS DE LA OCURRENCIA DE EVENTOS CLIMATICOS EXTREMOS EN BASE A APROXIMACIONES DE ESTACIONES CERCANAS A LA ZONA DEL PROYECTO”

Proyecto:

Adapting to Climate Change in the Bolivian Andean communities depending on Tropical glaciers

Elaborado por:

Ph.D. Magali García Cárdenas

Octubre de 2012

La Paz - Bolivia

I. Antecedentes.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GIECC), en su Cuarto informe de evaluación (4AR), afirma que se han observado múltiples cambios a largo plazo en el clima, tanto a escala global como regional, y que estos han afectado tanto a las zonas continentales como a las oceánicas. Algunos de estos cambios incluyen, por ejemplo, las variaciones en la cantidad y distribución de la precipitación, en el grado de salinidad de los océanos, en las características de los patrones del viento, y en la frecuencia e intensidad de episodios de tiempo extremo o severo, como sequias, lluvias torrenciales y olas de calor. Estos cambios deben ser evaluados y dada la cantidad de diversas metodologías para hacerlo es conveniente encontrar formas estandarizadas para evaluar estos eventos, de manera que sean comparables con los resultados de otras zonas. Para ello, en el presente trabajo, en forma inicial se ha se ha decidido evaluar los eventos extremos mediante el seguimiento de un conjunto de indicadores climáticos definidos a escala internacional, pudiendo así comparar los resultados obtenidos con los de otras zonas del país y del planeta.

II. Metodología

El análisis se realizó evaluando el comportamiento anual, estacional y mensual en el tiempo de las variables de Tmax, Tmin y precipitación y sus tendencias, si existieran, para las estaciones de Calacoto, Patacamaya y Charaña. Desde un punto de vista de seguimiento del cambio climático, el análisis de cambios de eventos extremos debe centrarse en indicadores climáticos, que, en general, se basan en las variables de temperatura y precipitación. El cálculo de índices climáticos es una herramienta útil para caracterizar el clima, presentar los patrones climáticos históricos y detectar los cambios. En este marco, expertos de distintos países han compartido conocimientos y esfuerzos para establecer indicadores comunes aplicables a todo el mundo. El Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices (Expert Team on Climate Change Detection and Indices, ETCCDI) ha formulado y definido un conjunto de indicadores para analizar situaciones climáticas extremas aplicando una metodología idéntica para garantizar que los resultados puedan analizarse globalmente.

El ETCCDI presenta las características y definiciones de los índices seleccionados para el presente estudio en http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/indices.shtml, y estos índices también se muestran en la Tabla 1. De esta manera, la metodología para evaluar la evolución de los eventos extremos en las estaciones cercanas a la zona de estudio, mantendrá el esquema propuesto por el ETCCDI, analizando las estaciones mencionadas previamente desde 1980 hasta 2007, debido a que se constituye en un periodo común de datos disponibles.

Tabla 1. Índices climáticos definidos por el ETCCDI y usados en el presente estudio, donde TN es la temperatura mínima, TX la temperatura máxima, TG la temperatura media y PPT la precipitación. El cálculo de percentiles, cuando corresponde, se realiza tomando como período de referencia el periodo disponible durante el trentenio 1961-1990.

ID	Nombre	Definición	Unidades
DHe0	Días de helada	Número de días en 1 año en que TN < 0°C	días
DV25	Días de verano	Número de días en 1 año en que TX > 25°C	días
TXx	Máxima de TX	Valor máximo anual de la temp. máxima diaria	°C
TXn	Mínima de TX	Valor mínimo anual de la temp. máxima diaria	°C
TNx	Máxima de TN	Valor máximo anual de la temp. mínima diaria	°C
TNn	Mínima de TN	Valor mínimo anual de la temp. mínima diaria	°C
TN10p	Noches frías	Número anual de días en que TN < percentil 10	días
TX10p	Días fríos	Número anual de días en que TX < percentil 10	días
TN90p	Noches cálidas	Número anual de días en que TN > percentil 90	días
TX90p	Días cálidos	Número anual de días en que TX > percentil 90	días
IDRC	Indicador de duración de rachas cálidas	Máximo número de días en 1 año en que, como mínimo hay 6 días consecutivos con TX > percentil 90	días
IDRF	Indicador de duración de rachas frías	Máximo número de días en 1 año que, como mínimo hay 6 días consecutivos con TN < percentil 10	días
ATA	Amplitud térmica anual	Promedio anual de la diferencia entre TX y TN	°C
PX1dia	Máximo de PPT en 1 día	Valor máximo anual de la PPT diaria	mm
PX5dia	Máximo de PPT en 5 días consecutivos	Máxima anual de la PPT registrada en 5 días consecutivos	mm
ISID	Índice simple de intensidad diaria	PPT total anual dividida entre el número de días con PPT ≥ 1 mm	mm/día
DP10	Días de PPT ≥ 10 mm	Número anual de días en que PPT ≥ 10 mm	días
DP20	Días de PPT abundante	Número anual de días en que PPT ≥ 20 mm	días
LMRS	Longitud máxima de la racha seca	Máximo numero en 1 año de días consecutivos con PPT < 1 mm	días
LMRH	Longitud máxima de la racha lluviosa	Máximo numero en 1 año de días consecutivos con PPT ≥ 1 mm	días

Adicionalmente, aunque no definidos por el IPCC, se ha calculado la variación en el número de días con precipitación tanto en términos anuales como trimestrales para las tres estaciones.

III. RESULTADOS

3.1. Evolución de las variables climáticas en las estaciones cercanas a la zona de estudio

3.1.1. Temperaturas Máximas

Las tres estaciones consideradas muestran que desde 1980, ha existido un ascenso sostenido en las temperaturas máximas promedio anual el cual es estadísticamente significativo (Figura 1).

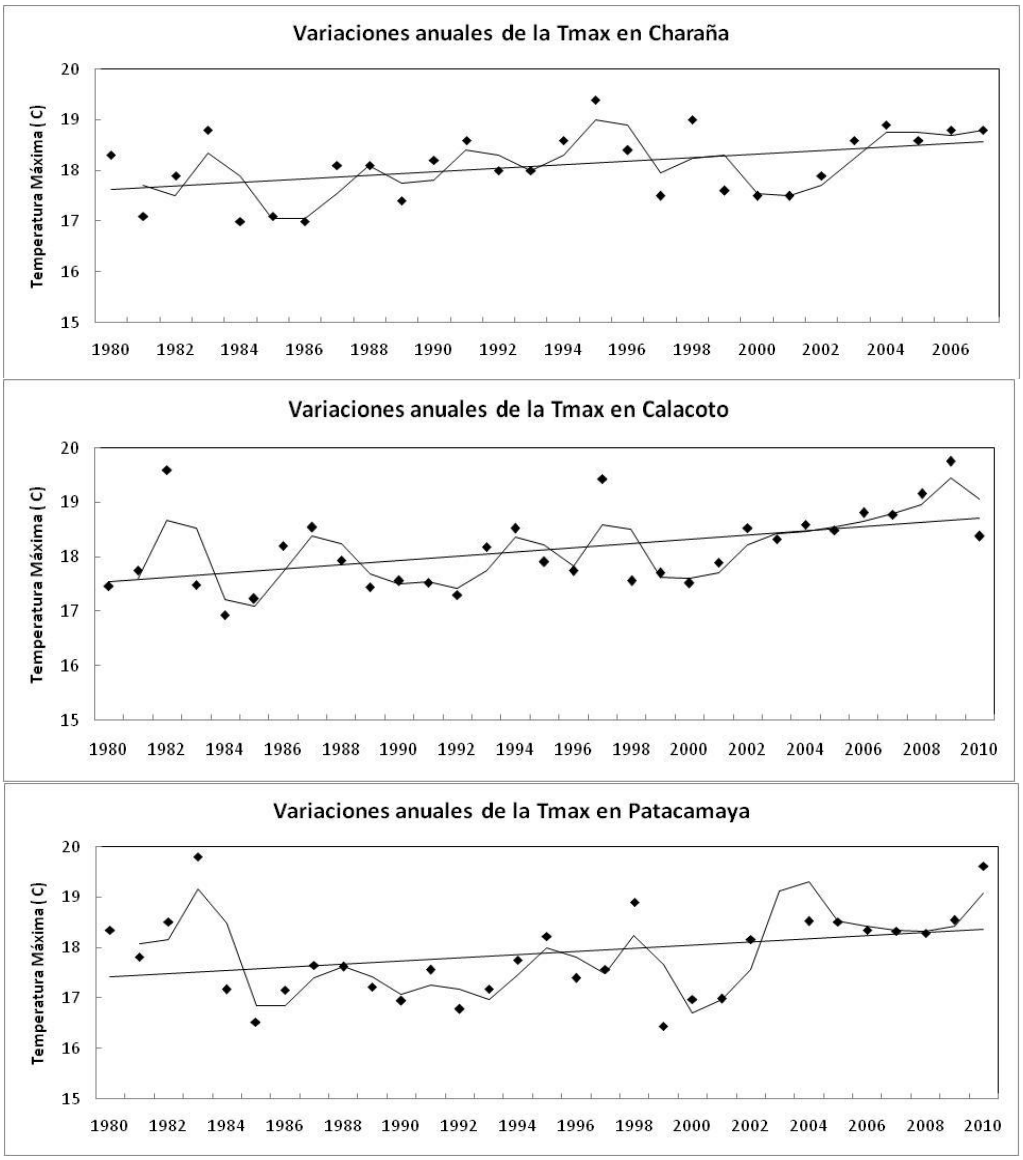

Figura 1. Variación de la temperatura máxima promedio anual en las tres estaciones consideradas

Con el fin de evaluar si el ascenso de las Tmax anuales es sostenido entre épocas, se dividió el año en los meses invernales y estivales y se aplicó similar análisis. La Figura 2 exhibe que las tendencias de elevación de la Tmax en las tres estaciones consideradas ocurren en forma sostenida tanto en verano como en invierno. Sin embargo, se perciben

diferencias en la tasa de ascenso entre épocas y estaciones, pues en Charaña las Tmax promedio de verano son mucho más elevadas y con mayor tendencia ascendente que las de invierno con un aporte mayor de las primeras al incremento anual. En Patacamaya, en cambio, los valores de Tmax en invierno son cercanos a los de verano, acercándose más en el tiempo y aportando similarmente entre épocas a la elevación anual. La estación de Calacoto tiene un comportamiento intermedio entre las dos inicialmente consideradas.

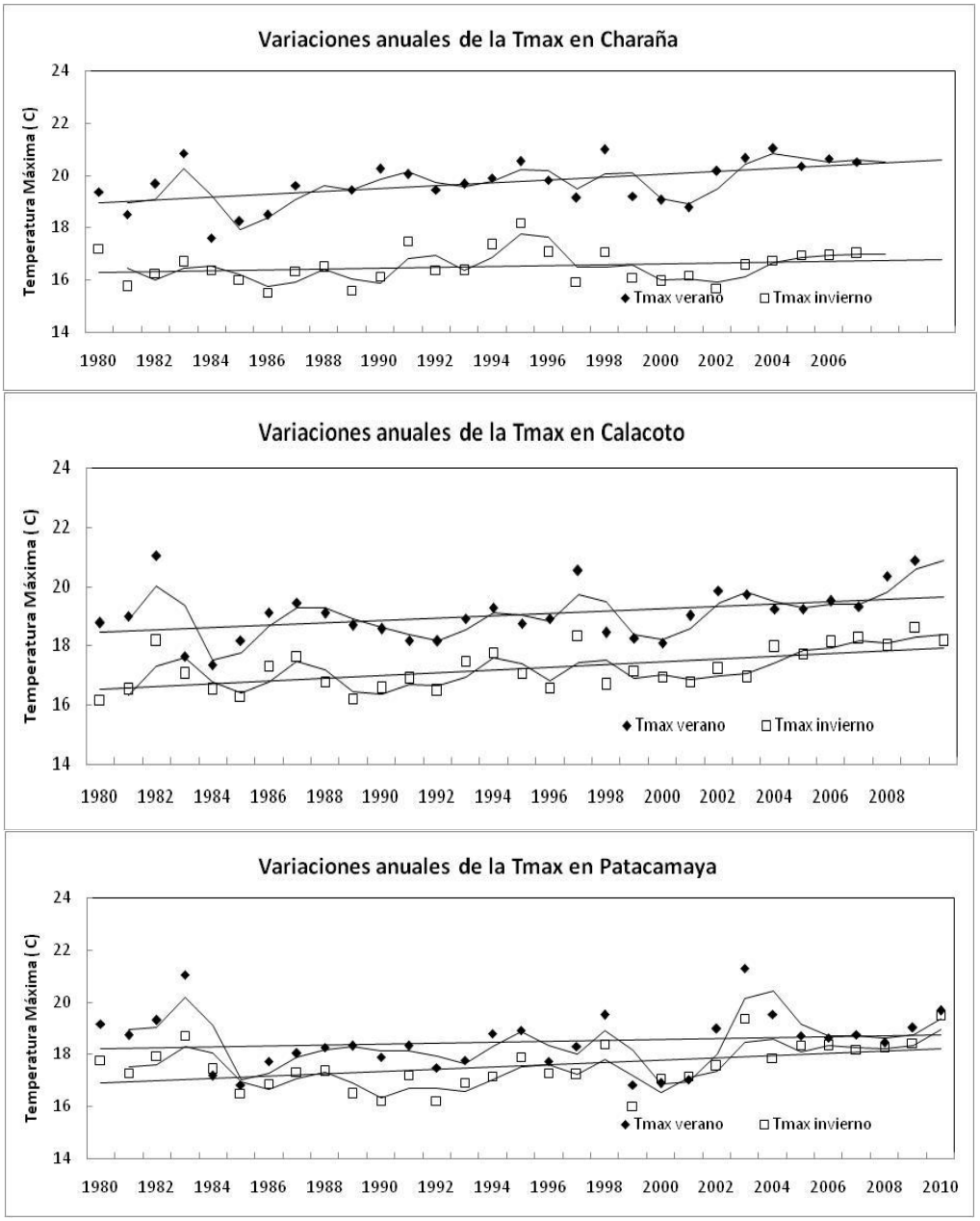

Figura 2. Variación de la Tmax promedio por épocas del año en las estaciones consideradas

Las variaciones mostradas no coinciden con los resultados presentados para Chungará (Informe de Consultoría No. 2) que no presenta ascensos en sus registros de la Tmax desde 1984. Estas diferencias podrían deberse a la modulación que produce la presencia de la laguna de Chungará sobre los registros térmicos en esta localidad o a la diferencia en altitud. Sin embargo para explicar estas variaciones se requiere mayor cantidad de información la que no está disponible para la presente consultoría.

La evaluación mensual de los cambios otorga mejores perspectivas para identificar la existencia de meses en que los cambios podrían ser mayores (Figura 3). Para ello se dividió el registro histórico mensual en dos partes de las que se obtuvo el promedio. Las diferencias en estos valores mostraran la intensidad del cambio entre periodos.

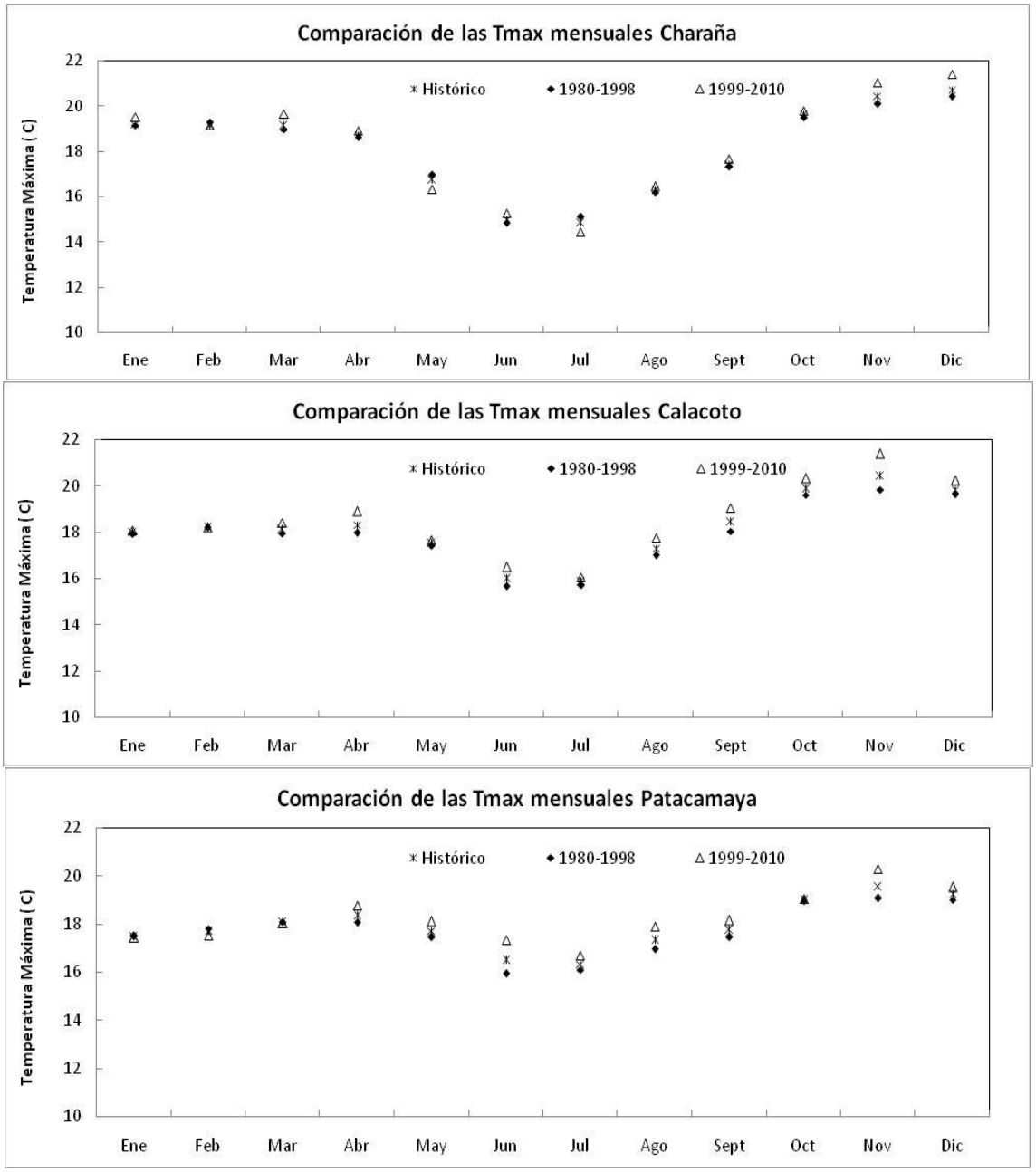

Figura 3. Comparación de medias mensuales de las estaciones consideradas entre los periodos 1980-1998 y 1999-2010.

En general y en forma histórica, las diferencias térmicas entre los meses invernales y estivales son mucho mayores en Charaña que en Patacamaya, lo cual podría deberse a la mayor aridez y altitud de la zona que no permite un mayor almacenamiento energético. También se percibe que existen diferencias y similitudes entre estaciones, pues en todas ellas, los meses de Noviembre, Diciembre, Marzo y Abril se muestran como los de máxima tasa de elevación de Tmax en la última década. Sin embargo, se aprecian

diferencias de calentamiento en los meses invernales pues, mientras que estos no presentan diferencias claras en Charaña (la temperaturas son similares), en Calacoto y Patacamaya se presentan como meses en que el calentamiento es significativo. El mecanismo de la ocurrencia de la Tmax se relaciona a la acumulación de energía en el día. El hecho de que Charaña no presente cambios significativos en invierno muestra que su acumulación energética se mantiene reducida en esa época lo que podría deberse a causas locales que deben investigarse y que van más allá del objetivo de la presente consultoría.

3.1.2. Temperatura Mínima

La temperatura mínima muestra un comportamiento diferente entre estaciones, el que se debería a diferencias locales claramente determinantes para un mayor o menor impacto del calentamiento global.

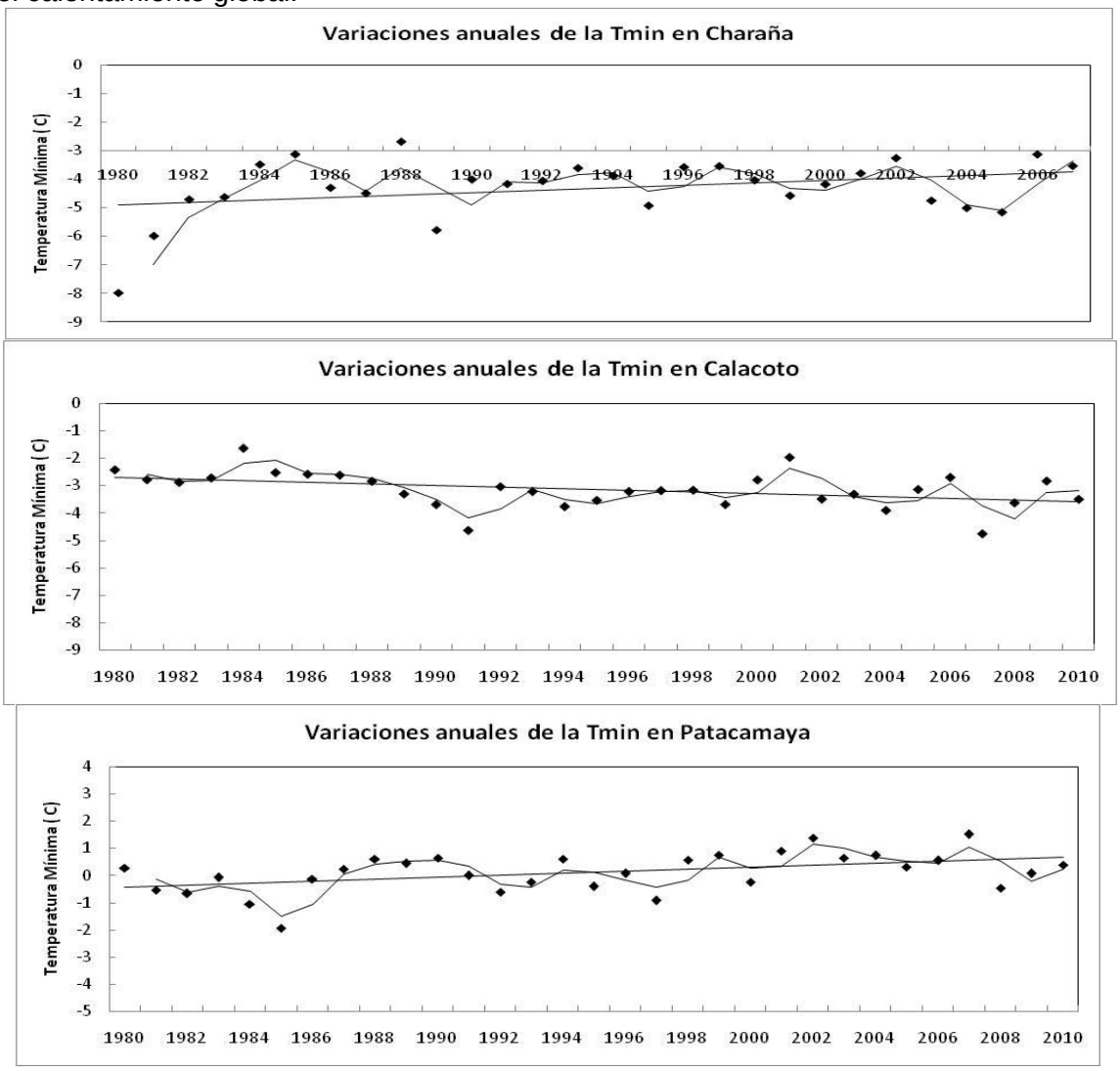

Figura 4. Variación de la temperatura mínima promedio anual en las tres estaciones consideradas

La Figura 4 indica que las estaciones de Patacamaya y Charaña muestran una clara tendencia ascendente en su Tmin. Extrañamente la estación de Calacoto muestra una tendencia inversa de descenso de la Tmin, que no coincide con los otros registros ni con lo presentado para Chungará (Informe de Consultoría No. 2). La Temperatura Mínima

ocurre gracias a una mayor o menor pérdida energética nocturna en la superficie terrestre y su atmósfera cercana, la cual está muy determinada por las condiciones eco-sistémicas locales. De esta manera, en el caso de Calacoto, se podría inferir que en esta zona, se está produciendo algún mecanismo local que determina una mayor pérdida energética nocturna, el que se estaría incrementando en el tiempo, en poca correlación con el comportamiento general de la zona. Usualmente estos mecanismos tienen relación con procesos de desertificación o mal manejo local que pueden o no extenderse a zonas cercanas.

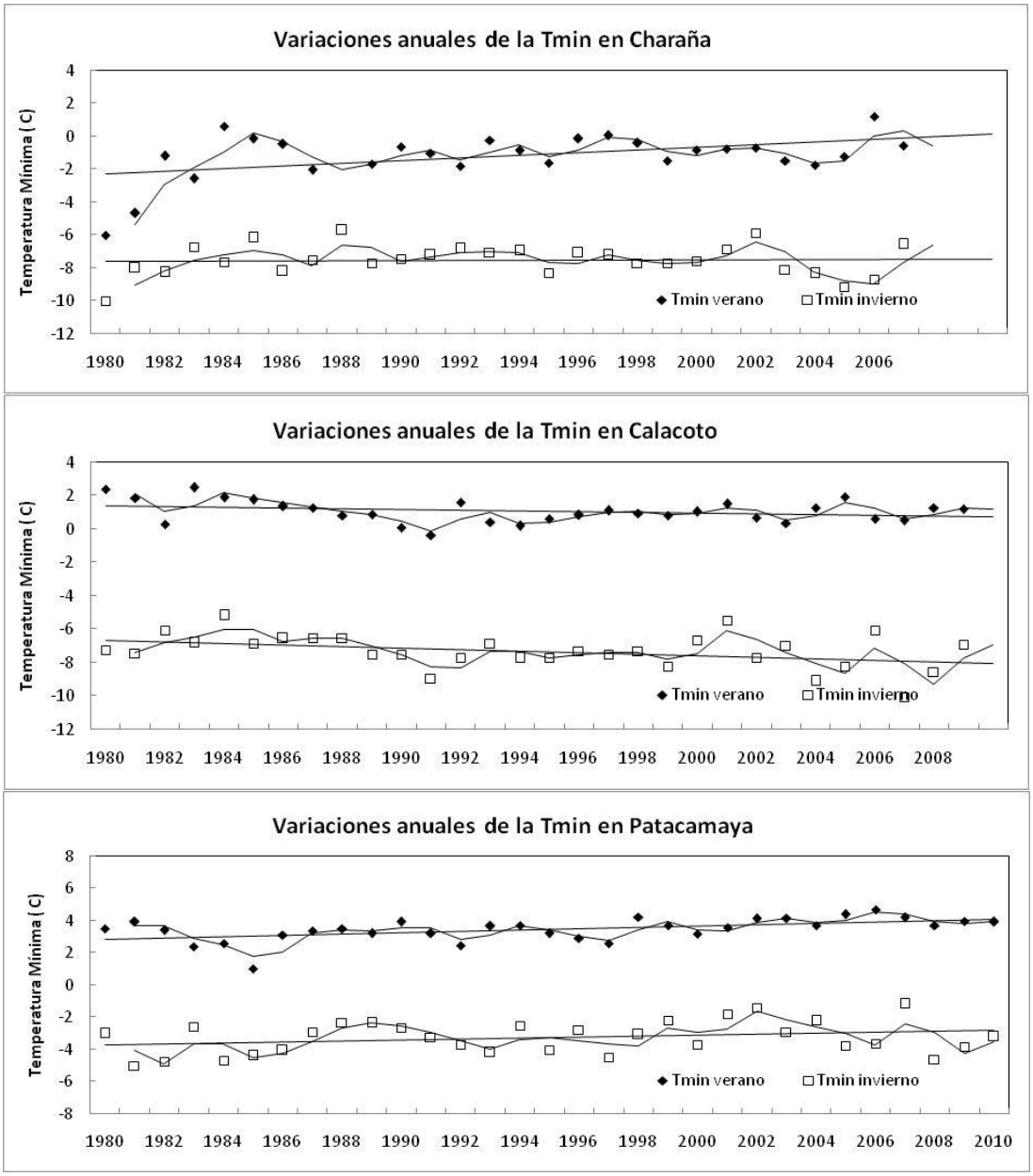

Figura 5. Variación de la Tmin promedio por épocas del año en las estaciones consideradas

La variación por épocas de la Tmin (Figura 5), muestra que, en Patacamaya y Calacoto, el aporte de las épocas al cambio anual (ascenso en Patacamaya, descenso en Calacoto) es similar no observándose diferencias de consideración en las tasas de cambio ni en

invierno ni en verano. Sin embargo en Charaña, se percibe un mayor calentamiento en verano que en invierno.

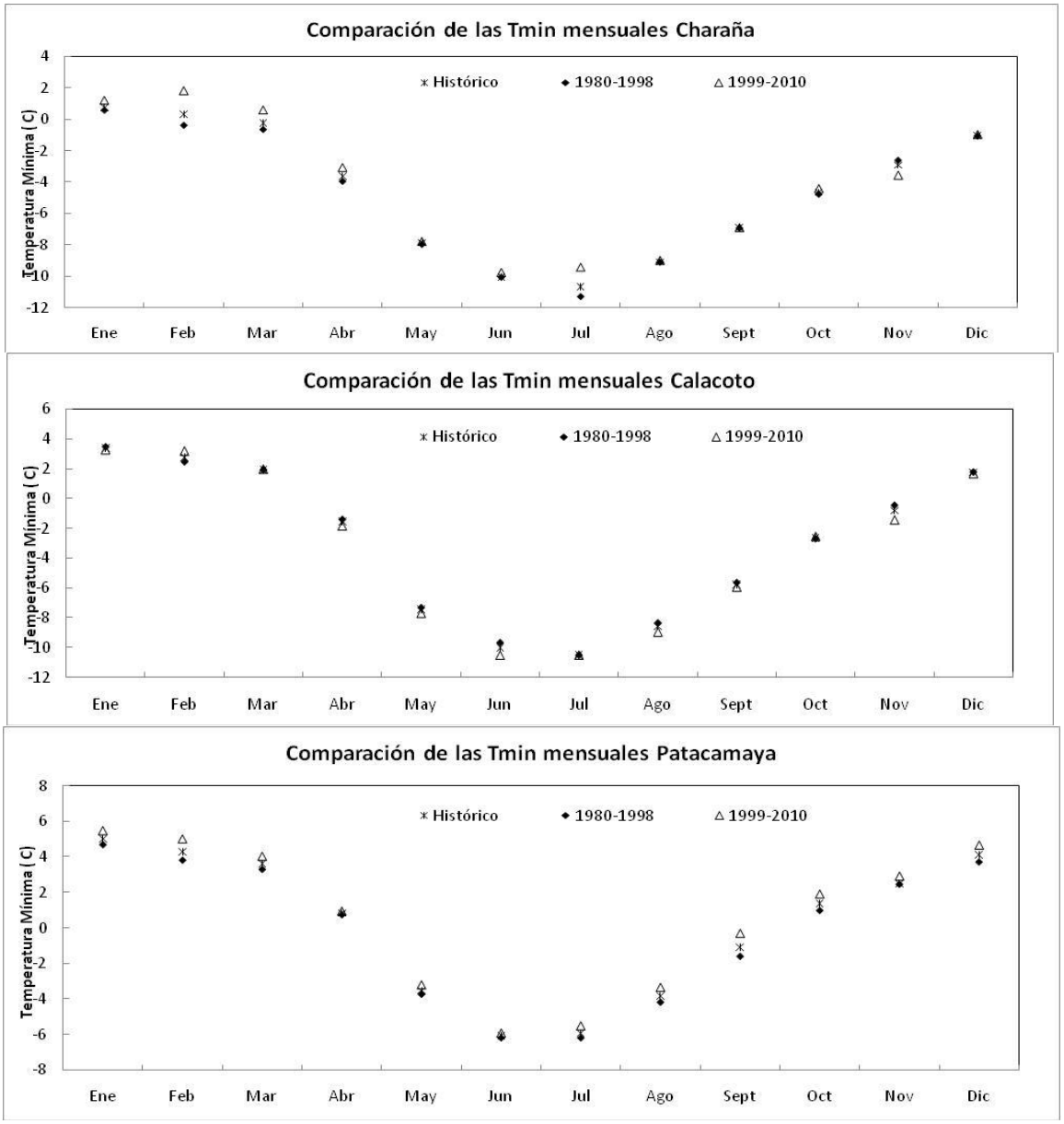

Figura 6. Comparación de medias mensuales de las estaciones consideradas entre los periodos 1980-1998 y 1999-2010.

El comportamiento mensual del calentamiento en las tres estaciones consideradas es diferente, confirmando lo presentado en párrafos anteriores. Charaña muestra los meses de Enero a Abril como los de máximo incremento térmico, mientras que los meses invernales no presentan cambio de significancia a excepción de Julio. En Calacoto la reducción de la Tmin se presenta homogéneamente en los meses invernales, mientras que el verano presenta diferencias de comportamiento mensual (mayor o menor enfriamiento). Finalmente, Patacamaya presenta un calentamiento de la Tmin en todos los meses del año.

3.1.3. Precipitación

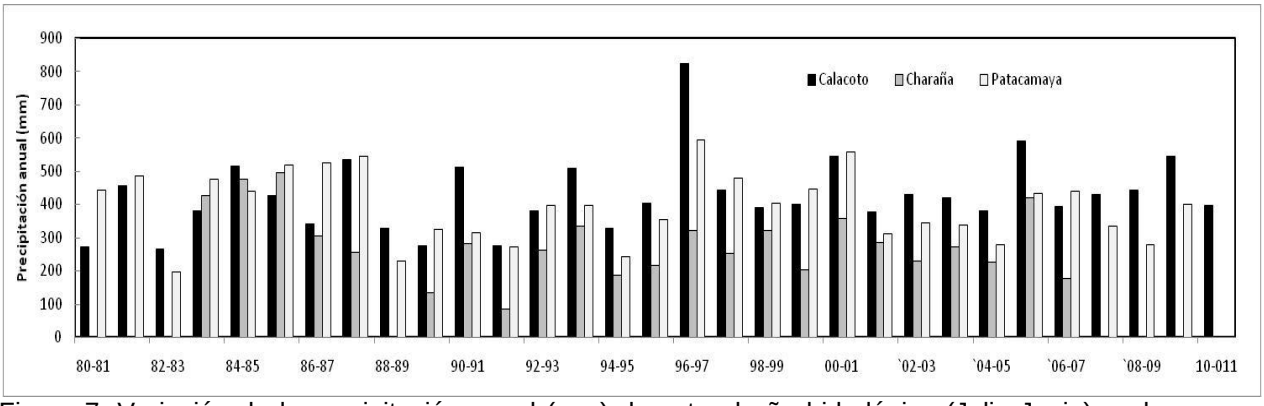

Figura 7. Variación de la precipitación anual (mm) durante el año hidrológico (Julio-Junio) en las estaciones consideradas.

Tal como se mostró para la estación de Chungará (Informe de Consultoría No. 2), la precipitación anual no presenta tendencias significativas de cambio en ninguna de las estaciones incluidas en este informe. Sin embargo, es necesario puntualizar que la información aquí presentada corresponde a la cantidad anual de precipitación la que podría no mostrar detalles sobre su distribución o intensidad. Más adelante se incluye un análisis más detallado sobre estas variables que podrían afectar más fuertemente al desarrollo productivo de las zonas que el total de la precipitación recibida.

3.2. Análisis de eventos extremos

3.2.1 Días con helada (DHe0)

Este parámetro es muy importante para definir la vocación productiva en una zona y se relaciona fuertemente con la humedad de esa zona y con su altitud. La Figura 8 presenta la variación del número de días con helada o días con temperaturas por debajo de 0°C para las tres estaciones consideradas en el estudio. La estación con menor número de días con helada es Patacamaya, incluso observándose una leve tendencia a su reducción. Calacoto y Charaña muestran registros más estables con cierta, muy leve, tendencia a la reducción del número de días con heladas. Es importante puntualizar que los días con helada, se concentran en los meses invernales, permitiendo algún tipo de agricultura en Charaña y cultivos anuales en Patacamaya y Calacoto durante los meses de verano.

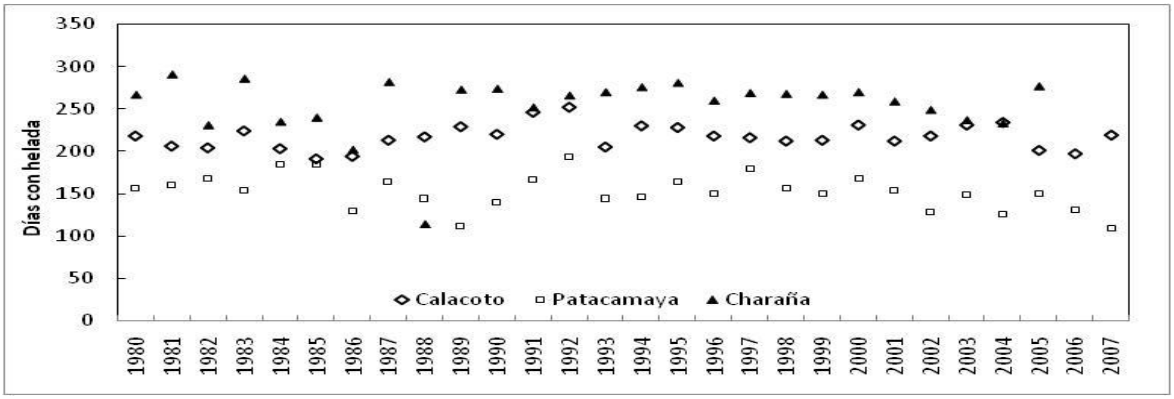

Figura 8. Número anual de días con temperaturas por debajo de 0°C en las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña.

La poca reducción en los días con helada, muestra que esta variable todavía es considerablemente una limitante para el sistema productivo de la zona en invierno. La reducción se concentra mayormente en verano lo cual de alguna forma, favorece la agricultura de la zona, pero esto debe considerar que también significa un incremento en las necesidades hídricas de los cultivos, las que deben ser consideradas.

3.2.2 Días de verano (DV25)

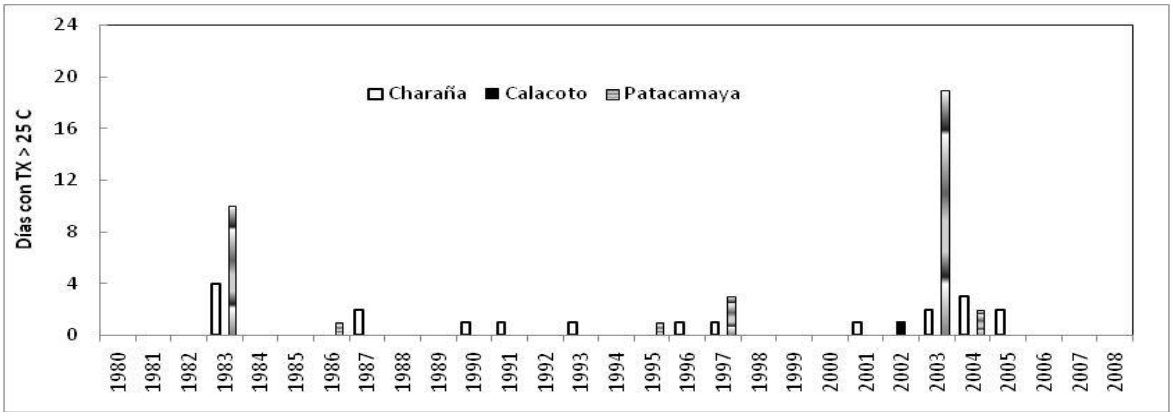

Figura 9. Conteo anual de días con Temperaturas Máximas > 25 °C

Estadísticamente, este parámetro no muestra clara tendencia al ascenso a excepción de un periodo cálido entre 2002 y 2005. Dado que la zona se encuentra a mucha altitud, este indicador no tiene mucha claridad y su variación podría no reflejar tendencias de elevación térmica ya que el umbral definido (25 °C) es muy alto para la zona. Sin embargo destacan los periodos 1983, 1986-1987, 1995-1997 y fundamentalmente 2002-2005 en que aparentemente se presentaron periodos de clara elevación térmica sobrepasando el umbral mencionado. Muchos de estos periodos de presencia de DV25 han ocurrido alrededor de los años en que se produjeron eventos *Niño*, lo que podría dar una indicación sobre las medidas que deben considerarse cuando se pronostique este fenómeno.

3.2.3 Valor máximo (TXx) y mínimo (TXn) de la Temperatura Máxima diaria

La Figura 10 presenta los valores máximos de la Tmax diaria para cada año. Se aprecia mucha similitud entre zonas con pocas variaciones y sin tendencias claramente observables. Destacan los años descritos en el capítulo 3.3 pues se muestran como los años con los valores más elevados de Tmax.

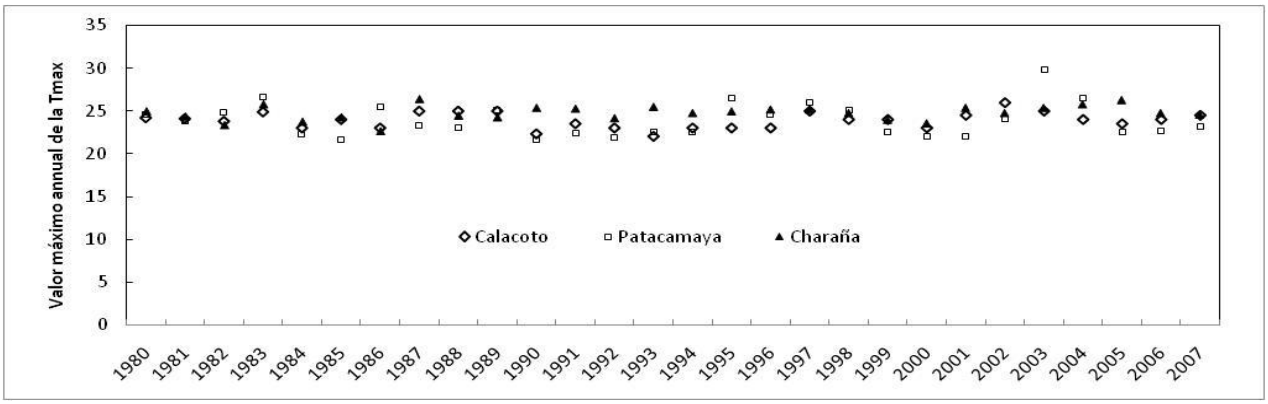

Figura 10. Valores máximos anuales de la Tmax en las estaciones incluidas en el estudio

La Figura 11 muestra los valores mínimos anuales de la Tmax diaria. En ella se percibe mucha variación entre zonas y años, no encontrándose un patrón claramente establecido. Aunque parecería existir una leve tendencia ascendente del valor mínimo anual de la Tmax, extremos inferiores aún se perciben en los últimos años aunque con menor frecuencia.

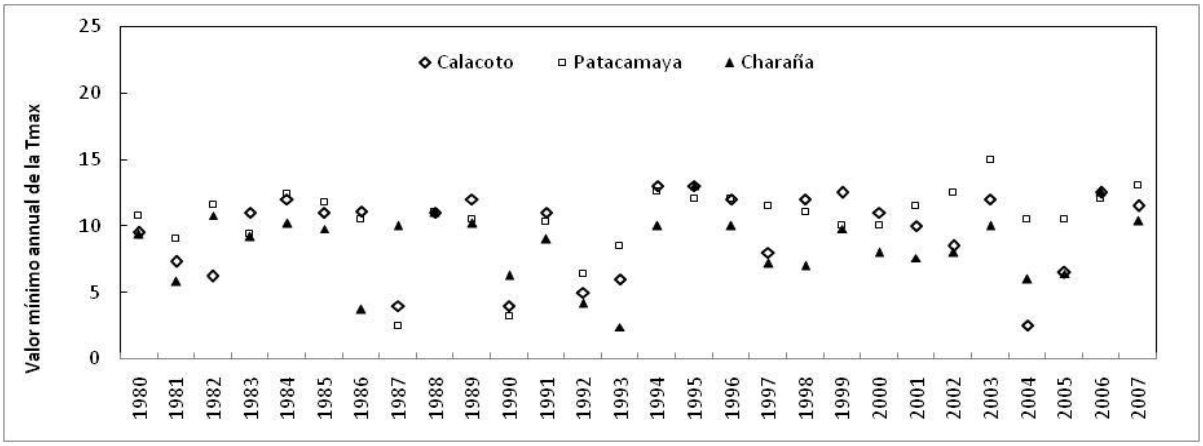

Figura 11. Valores mínimos anuales de la Tmax en las estaciones incluidas en el estudio

3.2.4 Valor máximo (TNx) y mínimo (TNn) de la Temperatura Mínima diaria

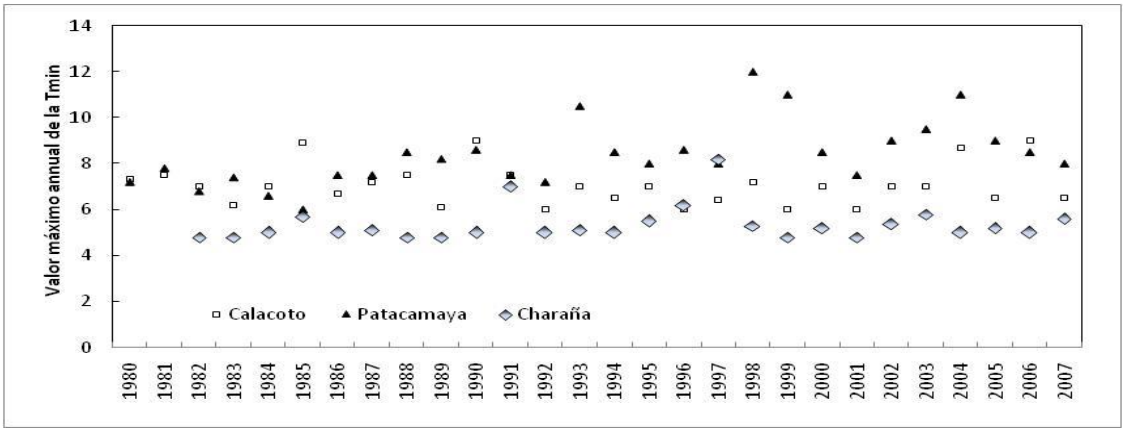

Figura 12. Valores máximos anuales de la Tmin en las estaciones incluidas en el estudio

La Figura 12 muestra que en Charaña, la temperatura mínima diaria, en sus valores más elevados, no presenta tendencias claras de cambio, sin embargo Patacamaya demuestra una clara tendencia al incremento de este índice. En el caso de Calacoto, se observa un leve incremento aunque no significativo.

En la Figura 13 se percibe que las temperaturas anuales más bajas de las tres estaciones no han sufrido cambios de consideración desde 1980, mostrando entonces que los inviernos aún son muy fríos en el Altiplano Central Oeste donde se ubican estas estaciones y que las temperaturas mínimas extremas invernales no han dejado de ser una limitante para el sistema productivo de la zona.

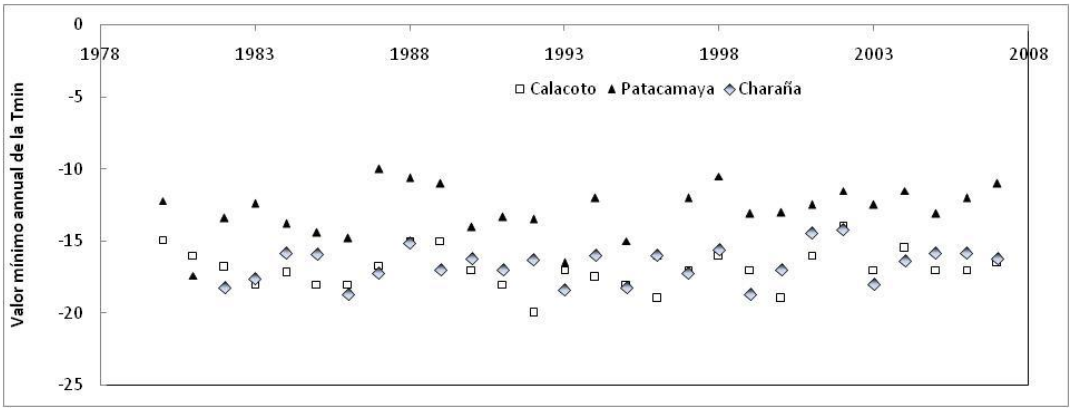

Figura 13. Valores mínimos anuales de la Tmin en las estaciones incluidas en el estudio

3.2.5 Noches frías (TN10p)

La variable Noches frías (TN10p) compara la ocurrencia (después de 1990) de noches con temperaturas inferiores al percentil 10 de los registros de antes de 1990. Desde 1990, las noches frías no muestran tendencias de cambio estadísticamente significativas (Figura 14). Sin embargo, se aprecia fuertes cambios interanuales observándose años con muchas noches frías seguidos de otros con poca presencia de este tipo de eventos. Este tipo de variaciones de año a año son más claras en Patacamaya y Calacoto. Charaña mantiene sus valores de temperaturas bajas extremas en forma constante.

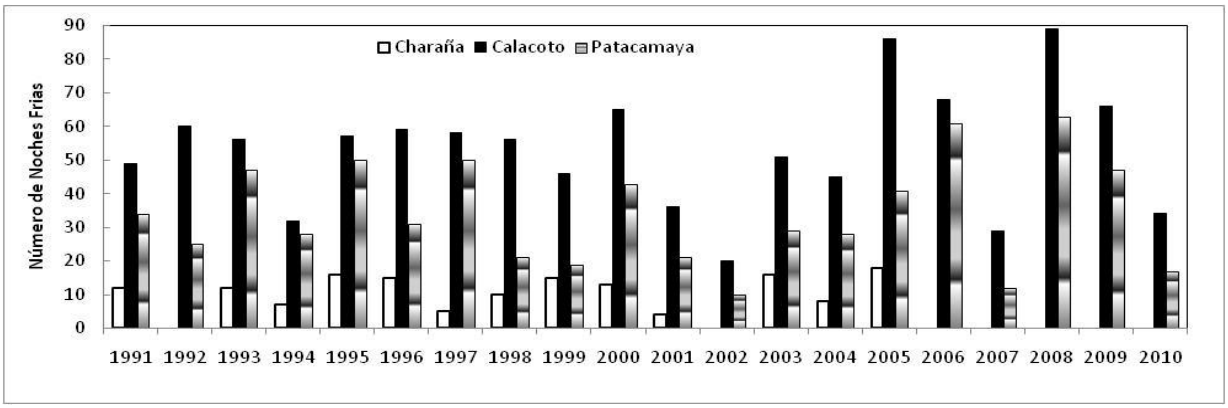

Figura 14. Noches frías desde 1991 hasta 2010

3.2.6 Días fríos (TX10p)

Similarmente a la variable Noches frías, los días fríos muestran los eventos en que las temperaturas máximas a partir de 1990 descendieron a niveles inferiores a los del percentil 10 de los registros de Tmax de antes de 1990.

A diferencia de la presencia de Noches frías, las estaciones de Patacamaya y Calacoto muestran tendencias al descenso del número de Días fríos, mostrando que las temperaturas máximas se encuentran en ascenso en comparación al periodo anterior a 1990. Los resultados son consistentes con las tendencias de la Tmax en las 3 estaciones, que muestra un ascenso sostenido desde 1980. Charaña, en cambio, no muestra cambios manteniéndose como la estación con las temperaturas inferiores más bajas de la zona.

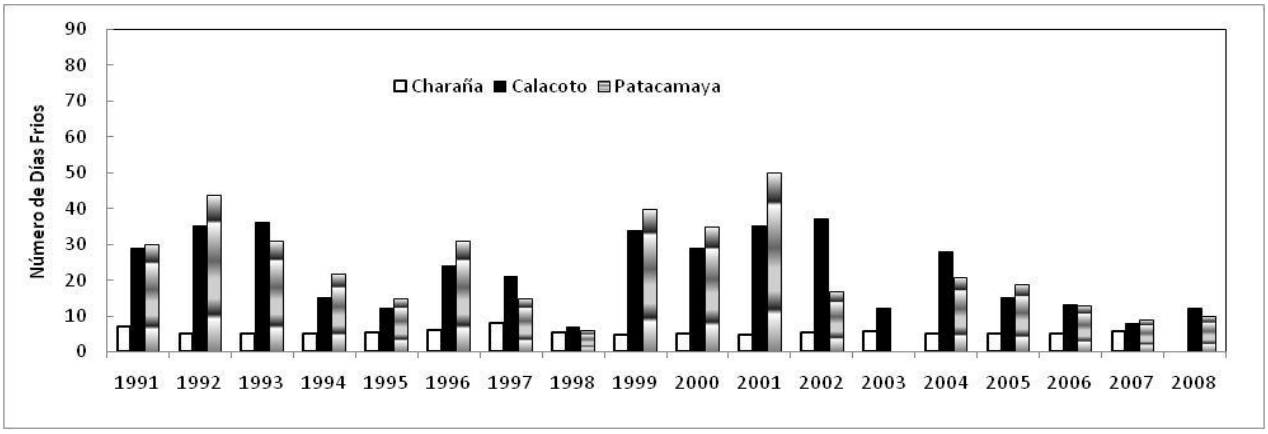

Figura 15. Días fríos en el periodo de análisis

3.2.7 Noches cálidas (TN90p)

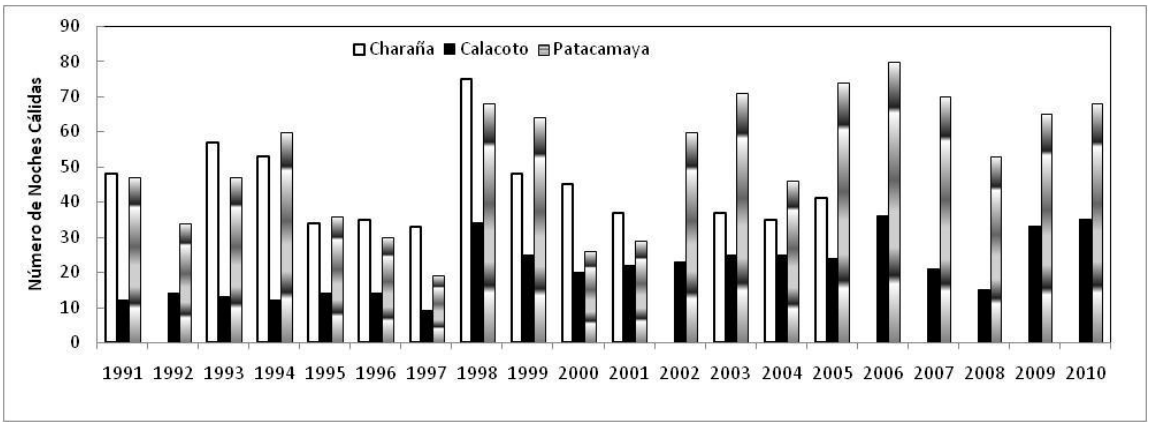

Figura 16. Noches cálidas durante el periodo de análisis

Este parámetro muestra la cantidad de noches que se presentan inusualmente calientes en comparación al periodo anterior a 1990. En concordancia con resultados anteriores se percibe que las noches cálidas se han incrementado gradualmente en Patacamaya y Calacoto, pero que no muestran diferencias claras en Charaña. La evaluación futura de este valor es de importancia pues de mantenerse la tendencia de incremento, afectará fuertemente el sistema productivo de la zona ya que podría determinar su orientación hacia otros cultivos menos rústicos y de ciclos más cortos. Sin embargo, estas medidas de adaptación requieren un cuidadoso análisis pues deben responder al entorno que de alguna manera ha desarrollado respuestas de uso de las limitaciones productivas históricas, las que se verán afectadas.

3.2.8 Días cálidos

Como en el caso de las noches cálidas, los días más calientes que el percentil 90 de los registros después de 1990 se incrementan en Patacamaya y Calacoto y permanecen relativamente estables en Charaña. Si la tendencia de este parámetro se mantiene en estas estaciones, sus limitaciones productivas relacionadas con la lenta acumulación energética debido a las bajas temperatura medias, podrían cambiar hacia otras más relacionadas con limitaciones de suelos o reducida disponibilidad de agua para cubrir la demanda creciente.

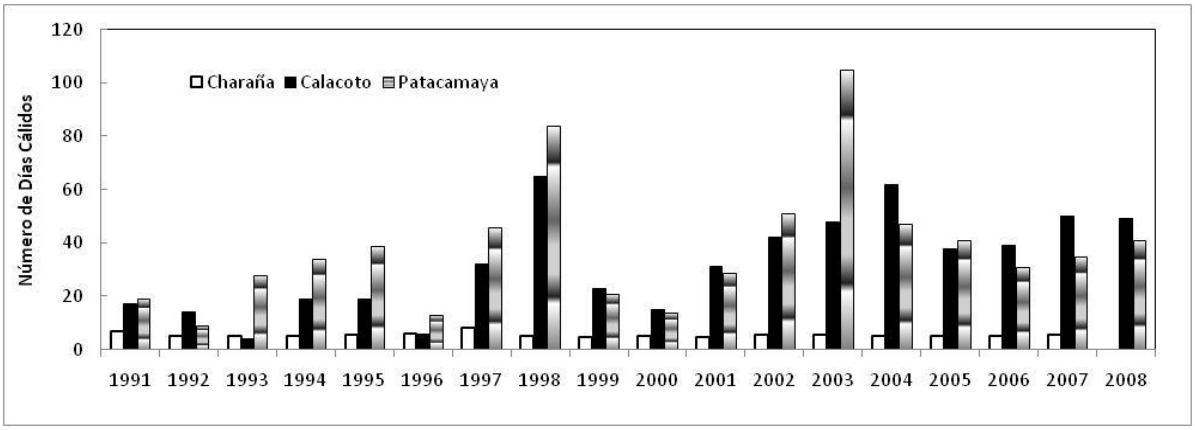

Figura 17. Días cálidos durante el periodo de análisis

3.2.9 Indicador de duración de rachas cálidas (IDRC)

El máximo número de días con temperatura superior al percentil 90 del periodo anterior a 1990 tuvo una tendencia creciente en Calacoto más no en Patacamaya ni Charaña. Esto significa que aunque las rachas calientes se producen y las Tmax se incrementan, la cantidad de días continuos con temperaturas muy elevadas no es un indicador de consideración en Patacamaya ni Charaña, mostrando que el calentamiento es homogéneo en estas dos zonas sin clara concentración de olas de calor. Calacoto, en cambio, muestra que parte de la elevación de su Tmax podría estar concentrada en rachas calientes, que junto con una reducción de las noches frías está provocando el ascenso térmico. La presencia de rachas calientes muy concentradas determina que existan diferencias térmicas de consideración en los registros analizados y que sea necesario considerar acciones de adaptación hacia cultivos que resistan extremos térmicos y hacia el uso regulado del agua de riego.

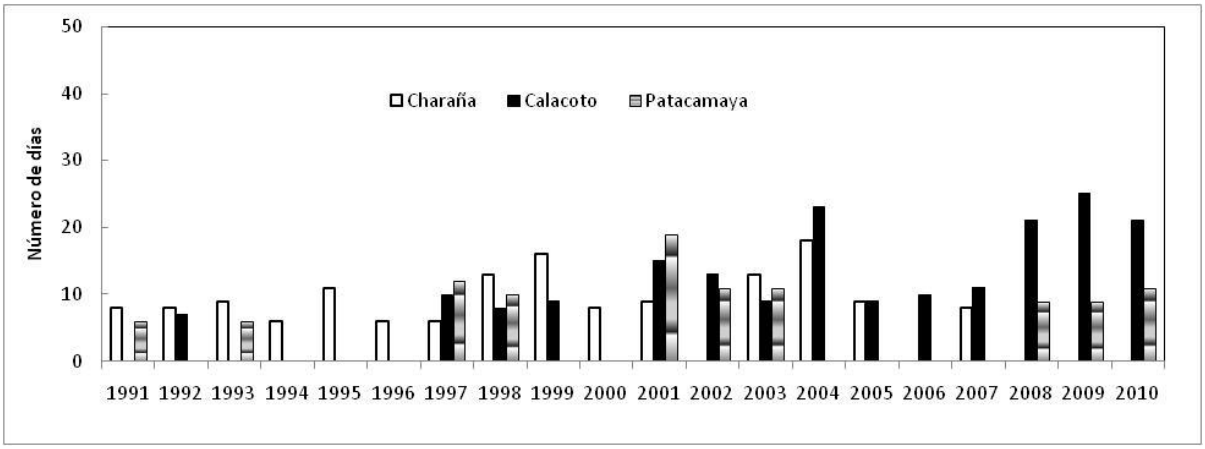

Figura 18. Duración de las máximas rachas cálidas en las estaciones analizadas

3.2.10 Indicador de duración de rachas frías (IDRF)

Las estaciones no muestran cambios significativos en la duración de sus rachas, siendo que en Charaña prácticamente no se presentan. Es necesario aclarar que la no existencia de rachas frías no significa que no se produzcan estos eventos, sino que estos no se producen durante por lo menos seis días continuos. Es decir que en Charaña se presentan eventos con temperaturas más bajas que el percentil 10 de antes de 1990, pero no en forma continuada sino distribuida. Considerando que las temperaturas mínimas en

Charaña son aún muy extremas, se puede concluir que en esta estación los efectos del calentamiento no sobrepasan a los de la altitud y sequedad de la zona especialmente en invierno.

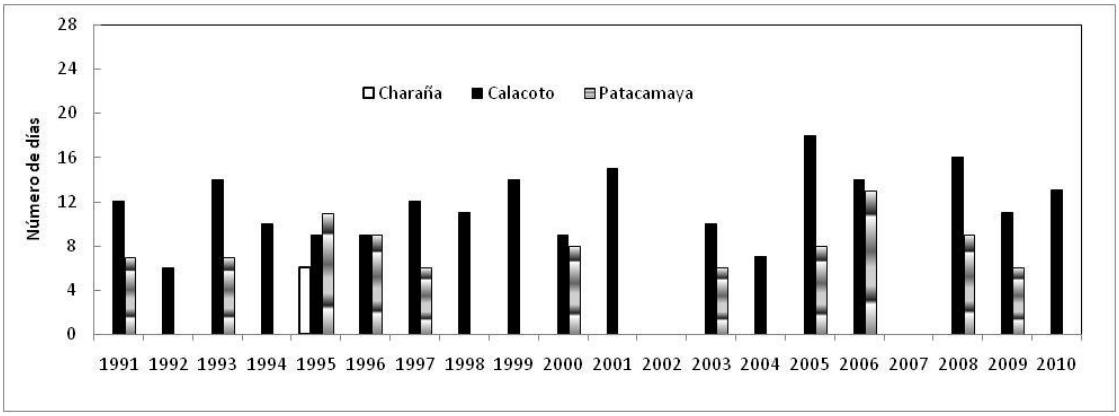

Figura 19. Duración de las máximas rachas frías en las estaciones analizadas

3.2.11 Amplitud térmica

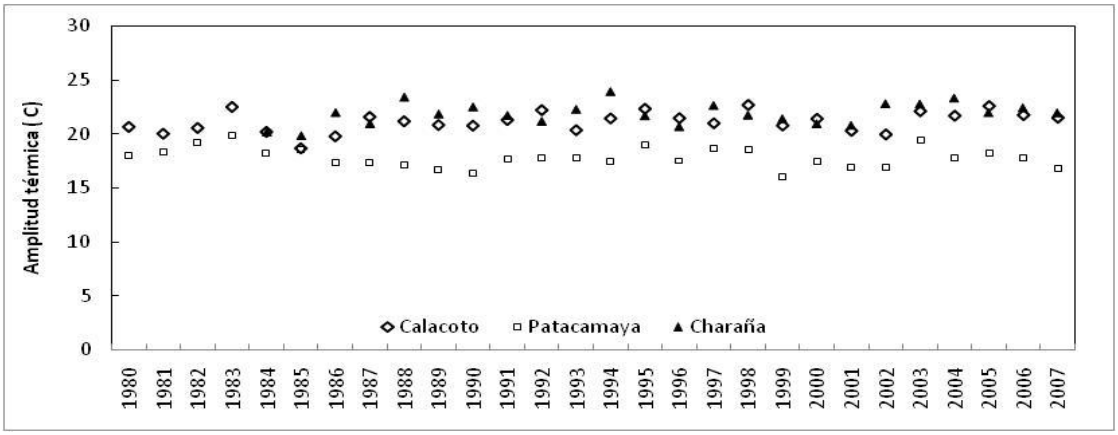

Figura 20. Amplitud térmica promedio de las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña

La Figura 20 muestra que el promedio anual de la diferencia entre la Tmax y la Tmin no ha tenido variaciones de consideración desde 1980 aunque se percibe que Patacamaya muestra valores menores probablemente debido a una atmósfera levemente más húmeda. También se aprecia que en Patacamaya la amplitud térmica tiene una leve tendencia descendente que no ocurre claramente en las otras estaciones. Siendo que la amplitud térmica de una zona es un indicador de la humedad presente en su atmósfera, se podría concluir que en términos anuales esta variable no ha sufrido cambios de consideración en la zona aunque esto requiere de un análisis más profundo de los mecanismos que determinan estos valores.

3.2.12 Cantidad máxima de precipitación en un día (PX1dia)

La Figura 21 muestra la cantidad máxima de precipitación que se recibió desde 1980 en un día para cada año. Se percibe que los extremos diarios muestran tendencias de incremento especialmente en Patacamaya y Calacoto; para Charaña también se percibe un leve incremento en sus extremos aunque no es significativo. El cambio e incremento en esta variable es un indicador de que los extremos de cantidad de precipitación recibida se están incrementando. A pesar de que la precipitación anual no muestra cambios ni

tendencias (Figura 7), esta cantidad de lluvia podría indicar que la lluvia se concentra en menos eventos, lo cual hace más vulnerable a los sistemas productivos de las zonas.

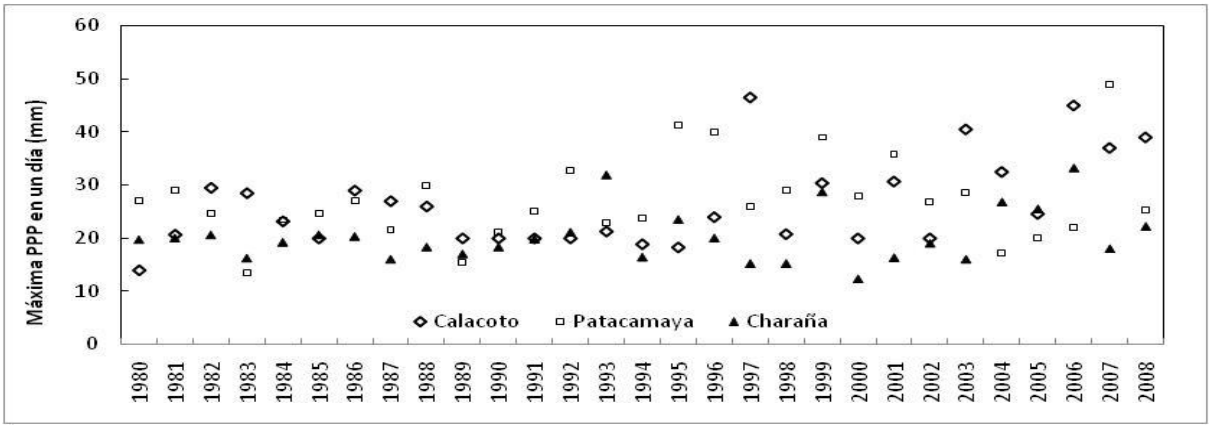

Figura 21. Precipitación máxima en un día en las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña.

3.2.13 Máximo de precipitación en 5 días consecutivos (PX5día)

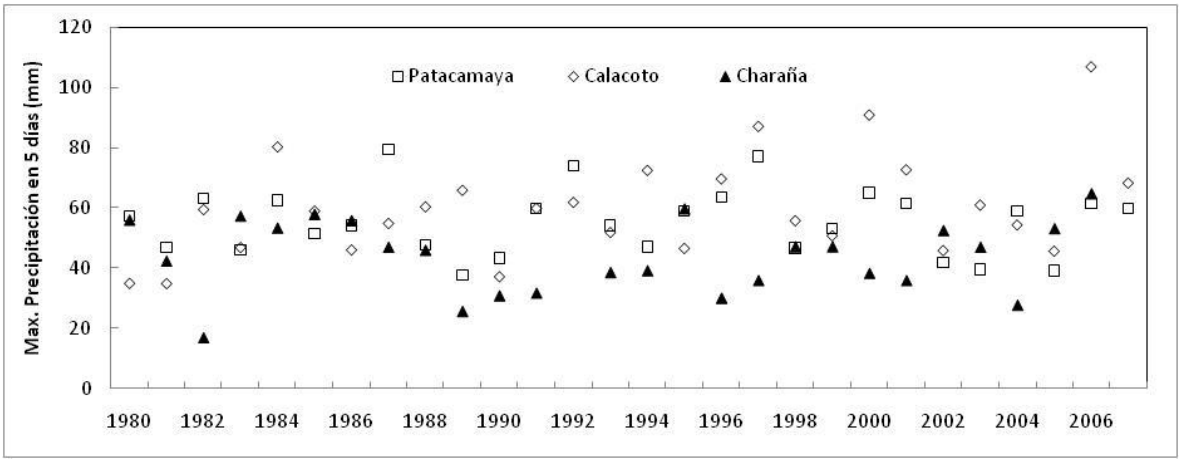

Figura 22. Precipitación máxima en un día en las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña.

La cantidad máxima de lluvia recibida en 5 días consecutivos no se percibe con clara tendencia de cambio en las tres estaciones analizadas. En relación con lo expresado en el acápite 3.2.12, se podría concluir que los eventos extremos puntuales se están incrementando pero que ellos podrían estar seguidos por periodos secos que estabilizan la cantidad de agua recibida en periodos más largos. Estos resultados sugieren que los sistemas de producción de la zona, deberán estar preparados para enfrentar eventos intensos seguidos por periodos secos los que deberán ser manejados adecuadamente a través de medidas estructurales de manejo.

3.2.14 Índice simple de intensidad diaria (ISID)

El ISID muestra si la intensidad promedio de precipitación de una zona se ha intensificado en el tiempo. La Figura 23 muestra que Patacamaya y Calacoto, como en los anteriores índices, presentan leves variaciones ascendentes en el tiempo. Charaña no muestra ésta clara tendencia, confirmando que en una estación en que la precipitación se muestra más estable.

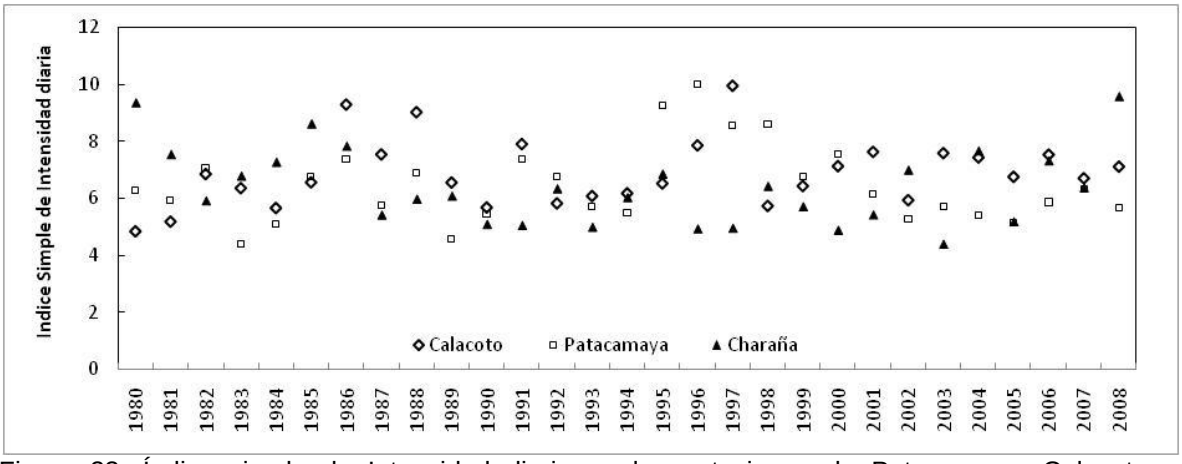

Figura 23. Índice simple de Intensidad diaria en las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña.

3.2.15 Días con Precipitación Intensa (DP10)

Este parámetro muestra la cantidad de días en que la precipitación excedió los 10 mm. En la Figura 24 se muestra que en Calacoto se incrementó levemente este parámetro, mientras que Charaña y Patacamaya mantienen registros más estables.

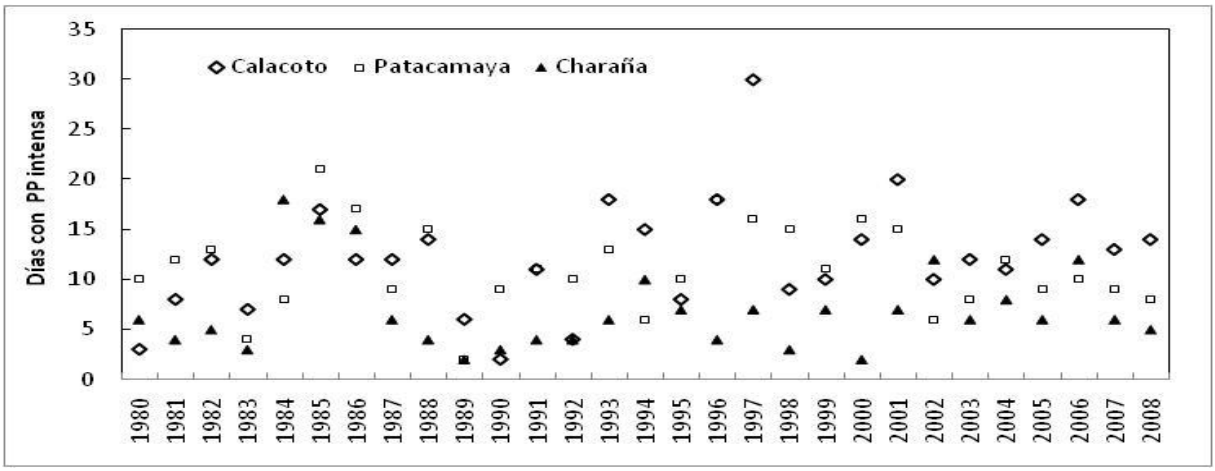

Figura 24. Días con PP intensa (PP> 10 mm) en las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña.

En relación con lo mostrado en el acápite 3.2.12 se percibe que si bien los máximos de precipitación se incrementaron, esto no significa que hay más días con precipitación más intensa que antes, sino que estos eventos ocurren puntualmente en las zonas.

3.2.16 Días con precipitación muy intensa (DP20)

El número de días con precipitación muy intensa se refiere a los días en que la PP excede los 20 mm. La Figura 25 muestra que este parámetro no presenta variaciones notorias en el tiempo. También se percibe que el año 1985 fue el año con mayor número de eventos extremos de precipitación cuyo registro extremo no ha sido superado.

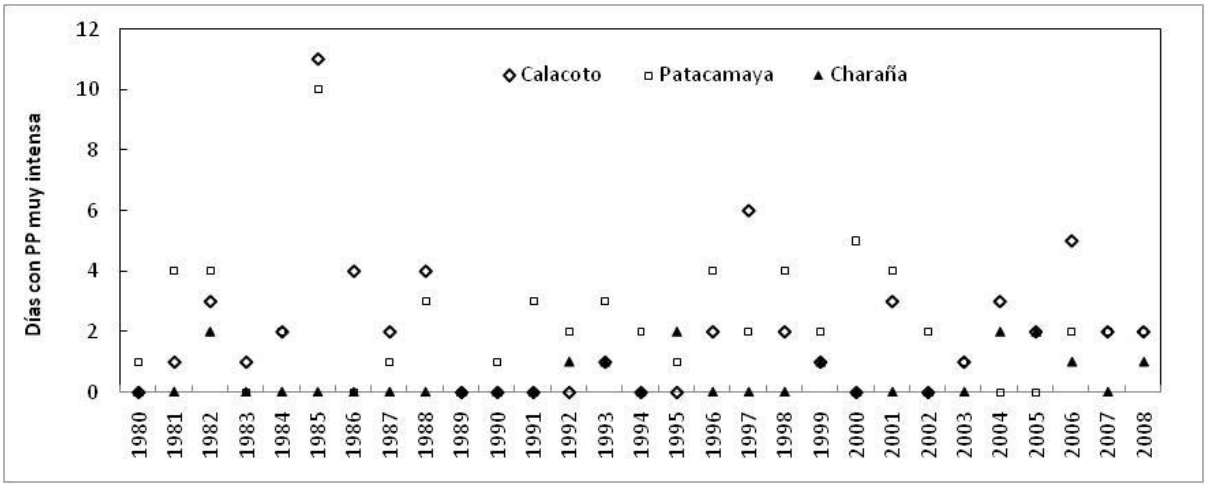

Figura 25. Días con PP muy intensa (PP> 20 mm) en las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña.

3.2.17 Longitud máxima de la racha húmeda (LMRH)

Dado que la precipitación en la zona de estudio se concentra en los meses de verano, el análisis se centró entre los meses de Octubre a Abril. Adicionalmente se dividió la época de lluvias en tres partes como sigue: Octubre-Noviembre que representa al inicio de la época de lluvias, Diciembre a Febrero que presenta a la época de máximas lluvias y Marzo-Abril que muestra la época en que la época de lluvias concluye. De esta manera se analizaron dos épocas de transición y el periodo pico de precipitación. La figura 26 presenta la duración máxima de días continuos con precipitación (LMRH anual) en el periodo total analizado (Octubre- Abril) para las tres estaciones consideradas.

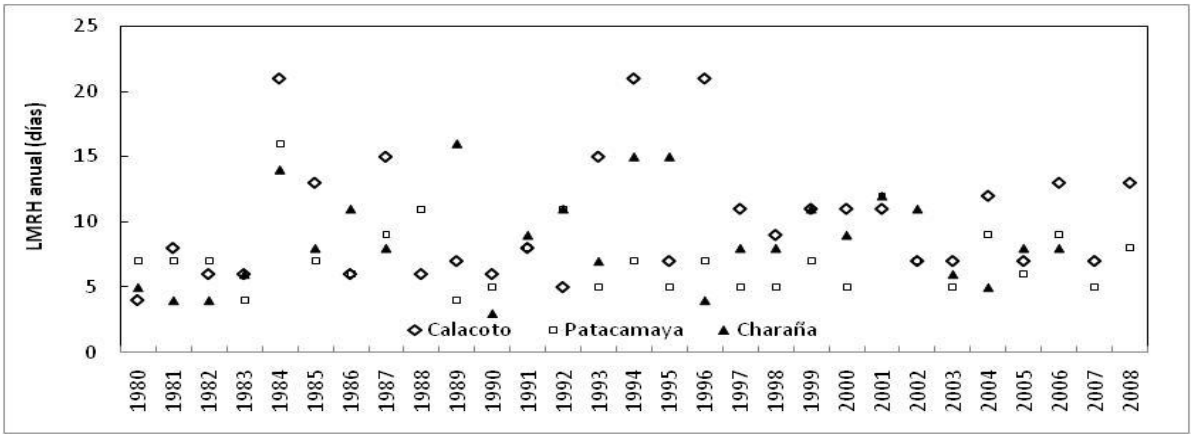

Figura 25. Duración máxima de la racha húmeda o con lluvia (PP> 1 mm) en las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña.

Estadísticamente, no se percibe un cambio significativo de tendencia de la duración de días con precipitación en las tres estaciones. En forma visual se observa una leve tendencia al descenso de esta duración, pero la señal es muy ligera, lo que no permite obtener conclusiones determinantes al respecto. Es apreciable que algunos años (p.ej., 1983, 1997, 2003) presenta duraciones míniimas que son extremadamente cortas comprobándose la rigurosidad del clima en la zona y el fuerte estrés al que están sometidos los cultivos de la zona, especialmente en años extremos. Sin embargo no se observa un incremento de la frecuencia de este tipo de años en el periodo considerado.

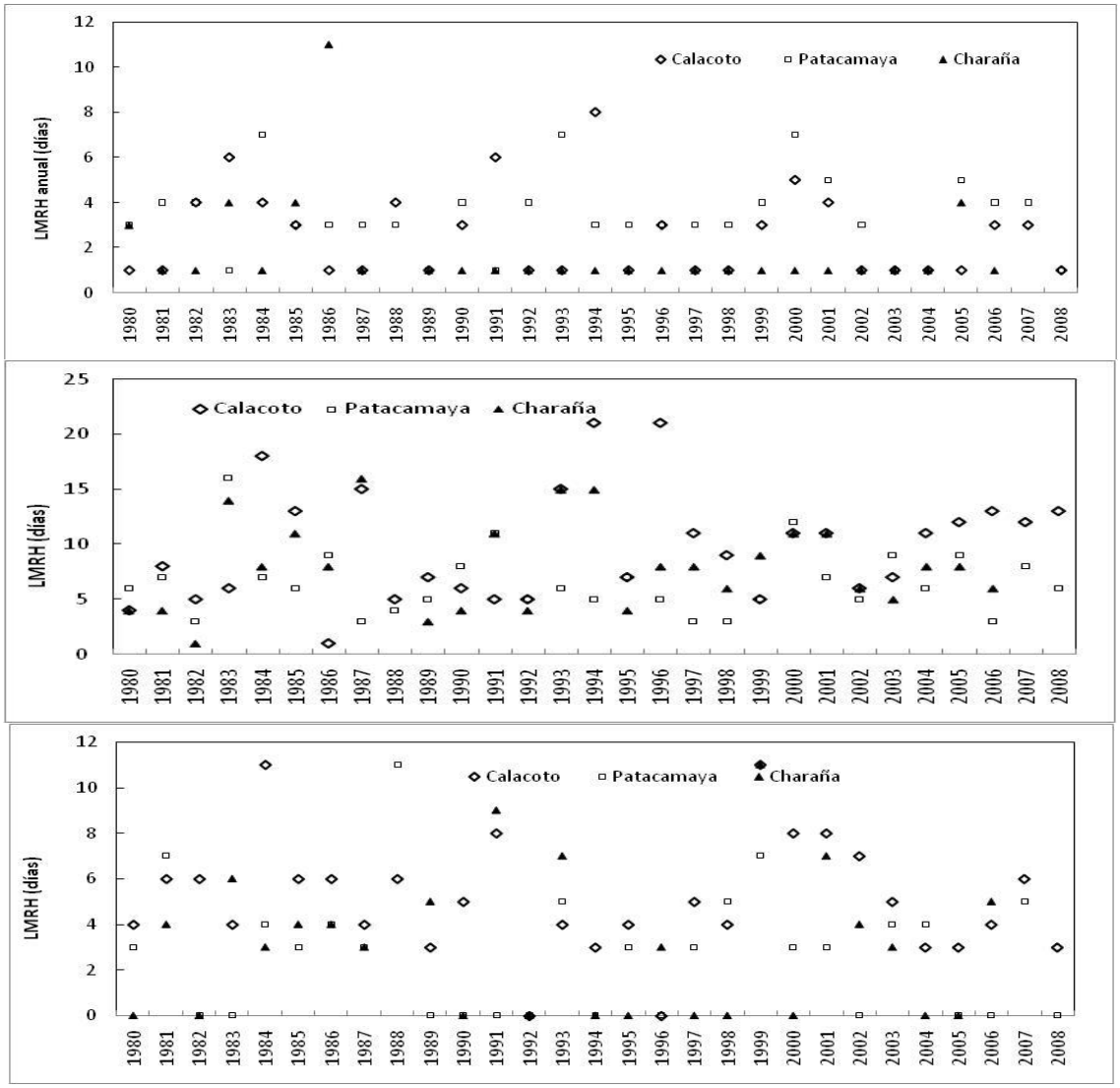

Figura 26. Duración máxima de la racha húmeda o con lluvia (PP> 1 mm) en las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña (arriba: Octubre-Noviembre; centro: Diciembre-Febrero; abajo: Marzo-Abril).

Al igual que en análisis anual, no se perciben diferencias significativas en la duración de la racha húmeda en las épocas de transición ni en la época pico de la estación de lluvias en las estaciones consideradas a excepción de Calacoto que muestra una leve tendencia a aumentar la duración de la racha húmeda en Dic-Feb y disminuir, levemente también, en Oct-Nov. Se percibe que los extremos de duración de rachas húmedas no se presentan en las últimas dos décadas, en ninguna de las épocas consideradas, manteniéndose estas rachas en valores promedios y estables.

3.2.18 Longitud máxima de la racha seca (LMRS)

Para describir este parámetro se utilizó la misma lógica que en el caso de las rachas húmedas, considerándose un día seco, aquel en que la precipitación fue inferior a 1 mm o que no hubo precipitación.

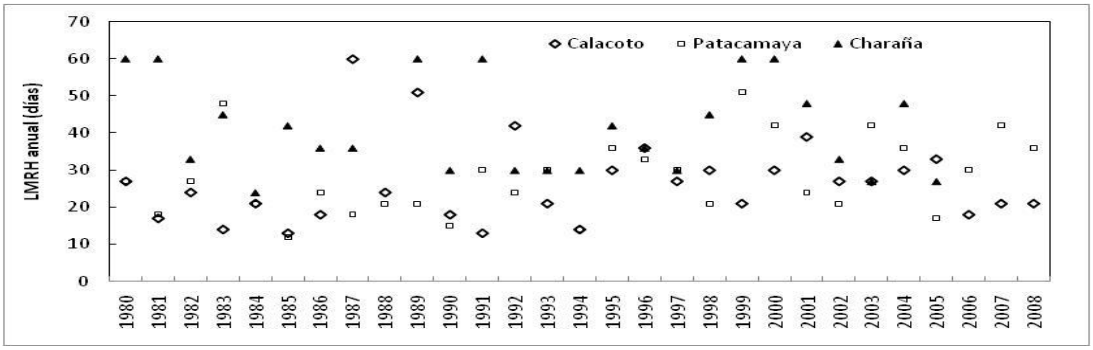

Figura 27. Duración máxima de la racha seca o sin lluvia (PP< 1 mm) en las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña.

Aunque en forma anual no se encuentran cambios estadísticamente significativos, destacan los elevados valores de la duración máxima de días sin lluvia a diferencia de la LMRH. Las zonas periódicamente enfrentan entre 15 y 60 días continuos sin precipitación, durante el periodo de lluvias que coincide totalmente con el periodo de cultivo. Estas tasas no muestran diferencias anuales pero muestran el fuerte estrés al que están sometidos los cultivos especialmente los que se desarrollan a secano. Charaña y Calacoto son las estaciones que mayor duración de rachas secas enfrentan frecuentemente.

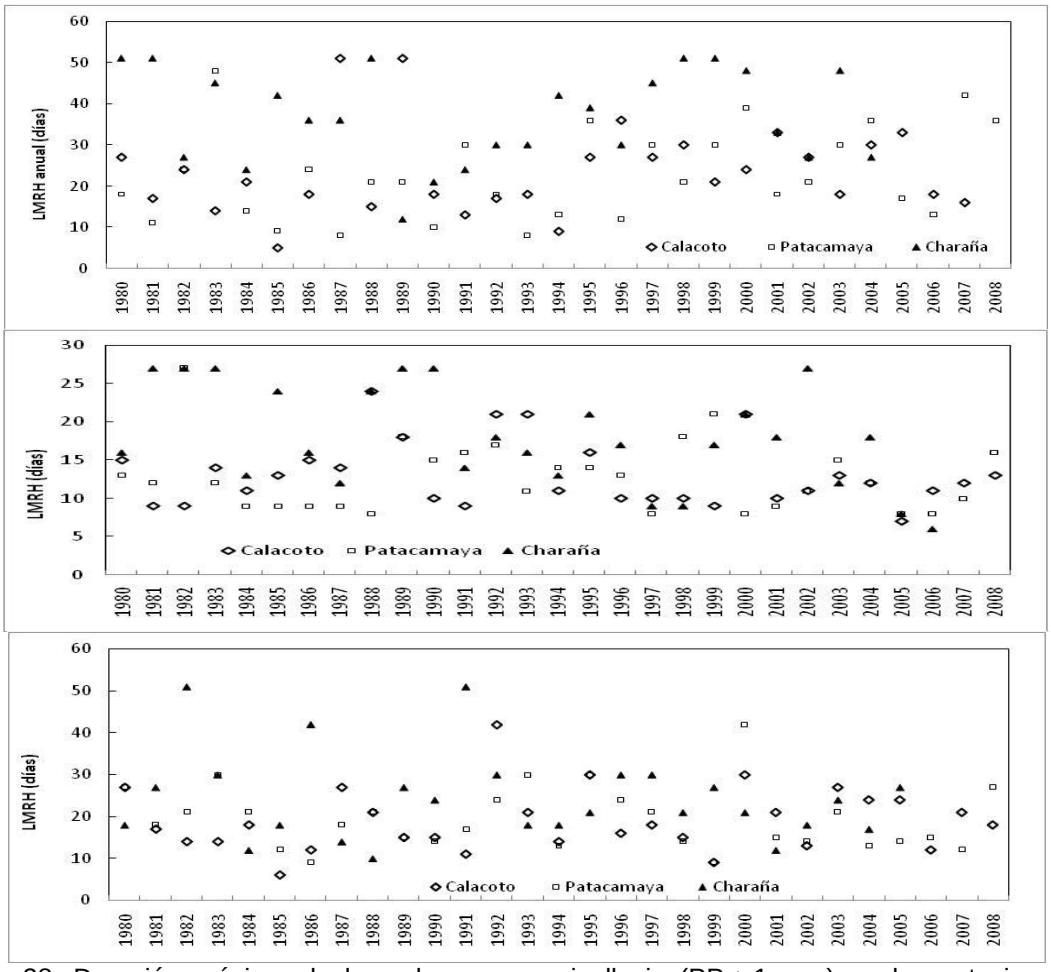

Figura 28. Duración máxima de la racha seca o sin lluvia (PP< 1 mm) en las estaciones de Patacamaya, Calacoto y Charaña (arriba: Octubre-Noviembre; centro: Diciembre-Febrero; abajo: Marzo-Abril).

En el caso del análisis por épocas, estadísticamente solo Patacamaya presentó una tendencia ascendente de la LMRS en Oct-Nov y Mar-Abr, compensándose con un leve descenso de la LMRS en Diciembre-Febrero. Calacoto y Charaña no demostraron cambios estadísticamente significativos en los meses mencionados, sin embargo se percibe visualmente una tendencia de incremento de la LMRS en Oct-Nov. En caso de confirmarse en el futuro estas tendencias iniciales, es de vital importancia para el sistema productivo el garantizar agua para la época de siembra pues el retraso en el inicio de la época de lluvias (Oct-Nov) podría determinar el fracaso de los cultivos en ese año.

4 CONCLUSIONES

El análisis tendencial y de ocurrencia de eventos extremos en las estaciones cercanas a la zona del proyecto ha mostrado que varios de los parámetros principales que determinan el clima tienen tendencias claras de cambio, mientras que otros se mantienen estables al presente.

Desde un punto de vista térmico se observa que la temperatura máxima muestra una tendencia ascendente en todas las estaciones, pero que existe una diferencia entre épocas y entre estaciones. Se observa, por ejemplo que en Charaña la ascendencia es mayor en verano que en invierno siendo que los promedios de este parámetro presentan mucha diferencia entre invierno y verano. Estos resultados contrastan con la estación de Chungará (Informe de Consultoría No. 2) que presenta valores más modulados probablemente por su cercanía a un cuerpo de agua lo que provoca que no presenten ascensos significativos en su Tmax. A pesar de que la Tmax promedio tiene una tendencia de ascenso significativa, los extremos en sus valores (TXx y TXn) no se notan con cambios claros, lo que mostraría que el incremento es homogéneo a lo largo del año. De todas formas se percibe que los días fríos se han reducido y que las noches y los días cálidos se han incrementado especialmente en Patacamaya y Calacoto, con menos claridad en Charaña.

Las Tmin suben en Patacamaya y Charaña, pero no en Calacoto, lo cual es presumible que se deba a características puramente locales de manejo de la zona de esta última estación. Las Tmin suben homogéneamente en Patacamaya pero en Charaña lo hacen fundamentalmente en verano, lo cual, nuevamente, se produce por efectos locales que afectan fundamentalmente en invierno cuando la estabilidad atmosférica de la zona determina una mayor influencia del ecosistema propio del punto analizado. En el caso de las Tmin, sus valores extremos máximos suben en Patacamaya y no en las otras estaciones, pero los extremos mínimos no han cambiado, lo que muestra que el riesgo de heladas extremas es permanente en la zona aunque exista un ascenso claro de la Tmin. Sin embargo, se debe considerar que estos extremos ocurren principalmente en invierno, lo que mantiene a estas zonas como de difícil agricultura en invierno pero con posibilidades mejoradas en verano. Esto se confirma con la estabilidad media del número de noches frías. Finalmente, el análisis anual de la amplitud térmica muestra que en las estaciones estudiadas, esta variable no ha cambiado en forma importante en el periodo considerado.

En el caso de la cantidad anual recibida de precipitación, esta no muestra cambios en ninguna estación coincidiendo con lo encontrado para Chungará. Sin embargo, la cantidad máxima de precipitación en un día se ha incrementado en Patacamaya y Calacoto, aunque en Charaña no muestra cambios de consideración. Se percibe también que los días con precipitación intensa y muy intensa no han sufrido cambios de significancia, lo cual muestra que se están presentando con mayor frecuencia eventos de

mayor precipitación, pero que estos no son regulares en forma anual, de tal manera que el número total de días con precipitación intensa y muy intensa no ha cambiado sustancialmente. Tampoco se observa cambios de consideración en la longitud de las rachas secas o húmedas, con leve tendencia al incremento de las rachas secas en Octubre-Noviembre y descenso de ellas en Diciembre-Febrero.