TENDENCIAS DEL CLIMA PRESENTE Y POSIBLES TENDENCIAS DEL CLIMA FUTURO EN LA CUENCA DEL RÍO SAJAMA









INFORME DE AVANCE

Dr. Ing. Freddy Soria Céspedes

CONSULTOR INDEPENDIENTE, ONG AGUA SUSTENTABLE

La Paz, 14 de marzo de 2014

CONTENIDO

	Página
1 INTRODUCCIÓN	3
 2 MÉTODOS 2.1 Análisis de consistencia y predicción de información faltante 2.2 Predicción del comportamiento futuro 	3 3 5
 3 RESULTADOS 3.1 Precipitación Predicción de datos faltantes y tendencias anuales (series rellenadas) para el tiempo presente 	5 5
 3.2 Temperatura del aire Relleno de datos faltantes y tendencias anuales (series rellenadas) para el tiempo presente 3.3 Posible comportamiento futuro de las variables precipitación anual y temperatura media anual del aire 	13 20
4 RESÚMEN, CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	22
AGRADECIMIENTOS	23
5 REFERENCIAS	24

TENDENCIAS DEL CLIMA PRESENTE Y POSIBLE CLIMA FUTURO EN LA CUENCA DEL RÍO SAJAMA Freddy Soria Céspedes

1. INTRODUCCIÓN

El estudio corresponde a la segunda parte del breve estudio del comportamiento del clima iniciado en el informe de avance de diciembre de 2013 (Soria, 2013). En aquella oportunidad, se enfatizó la necesidad de entender la variabilidad histórica a escala anual, de la precipitación, la temperatura media del aire, la velocidad media del viento, la humedad relativa media del aire y la evaporación de tanque en la región del Parque Nacional Sajama y las cuencas vecinas. Allí se explicó la razón que justificó la ampliación del área de análisis, desde la zona de la cuenca del río Sajama hasta cuencas que se desarrollan hacia el norte, oeste y sur del sitio de estudio. El presente informe extiende aquel estudio en dos sentidos: i) realiza la predicción de datos faltantes a escala mensual para incrementar la longitud de las series anuales y ii) realiza el análisis de las posibles tendencias climáticas a futuro en la zona de estudio. El análisis se realiza para el periodo histórico completo disponible en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (1943-2012).

2. MÉTODOS

2.1. Análisis de consistencia y predicción de información faltante

El análisis de los datos se realiza en varias etapas. En la primera, se realiza al análisis visual del comportamiento de las series, a escala anual y a escala mensual (UNESCO, 1982; Koteggoda y Rosso, 2007; WMO, 2011), seguido por un análisis de consistencia a escala anual a través del método del vector regional (ORSTOM, 1972). Como producto de este análisis, las estaciones se asocian en grupos con comportamiento consistente; esta etapa fue llevada a cabo en el informe de avance de diciembre de 2013.

Una vez identificados los grupos, se procede a realizar nuevamente el análisis visual del comportamiento de las series, a escala mensual y diaria. Luego, una vez que se obtienen series corregidas, se procede a predecir los valores de los meses sin datos. Estos meses sin datos ocurren por falta de registros o porque los datos fueron eliminados por contener errores. La predicción de la información se realiza a escala mensual, aplicando criterios de regresión múltiple bajo la premisa de que el comportamiento de la serie a ser predicha está regida por los principios que definen las tendencias de las series de las estaciones del mismo grupo donde existen datos. La aplicación de modelos de regresión lineal múltiple se justifica principalmente por la practicidad del método (WMO, 2011).

Durante el relleno de la información, en lo posible se omite la predicción de años completos de una serie, debido a que desde una perspectiva estadística aquel proceso podría no tener un sustento lógico. Excepciones a esta regla se dan únicamente cuando existe una razón que así lo

justifique, como por ejemplo, la necesidad de contar con información en un sitio específico para el diseño de una obra civil, etc.

Para predecir datos faltantes se siguió el procedimiento explicado a través del siguiente ejemplo. Se desea predecir el valor del mes *i* en la estación *X1*; la estación *X1* pertenece al grupo (climático) A. La estación *X1* se convierte en la variable dependiente del modelo de regresión. Las otras estaciones *X2..Xn* del grupo A, al que pertenece *X1*, pueden ser consideradas como potenciales variables independientes del modelo de regresión lineal múltiple, siempre y cuando tal variable independiente tenga datos registrados durante el mes *i* que se desea predecir. Luego, el modelo de regresión se ajusta a través de los métodos explicados en la literatura (*e.g.*, Koteggoda y Rosso, 2007).

Las predicciones se realizan bajo la consideración de que la construcción de un modelo de regresión múltiple sigue un proceso iterativo (Koteggoda y Rosso, 2007). En el estudio, se realiza el ajuste a través de un proceso de eliminación hacia atrás de la siguiente manera (Koteggoda y Rosso, 2007): i) se procede a realizar el ajuste asumiendo que todas las estaciones del grupo A tienen el potencial de predecir el valor faltante *i*; se obtienen los resultados de la regresión. ii) Se excluye una variable independiente por vez y se analiza si tal exclusión afecta el valor del coeficiente de determinación R² calculado para el modelo; cuando el efecto sobre el modelo es relevante, entonces se considera que aquella variable independiente es importante en el modelo y se la mantiene; caso contrario se excluye a la variable del modelo.

En referencia al R^2 , se aclara que el mismo no es un "coeficiente de ajuste"; el R^2 es la fracción de la variabilidad en la variable dependiente que es contabilizada por la variabilidad registrada en las variables independientes; es decir cuando, por ejemplo, el R^2 calculado es 88%, esto significa que el 12% de la variación no está cuantificada por el modelo de regresión construido; por esto, en general en un modelo de regresión se espera que el R^2 sea cercano a la unidad (1), pero sin buscar que este valor sea igual a uno (1), en cuyo caso la interpretación es diferente (Koteggoda y Rosso, 2007).

Por razones de comparación, la selección del número óptimo de variables independientes dentro del modelo de regresión, se realiza también a través del método de pasos sucesivos, que resulta de la combinación del proceso de eliminación hacia atrás descrita anteriormente y de un proceso de eliminación hacia adelante (Koteggoda y Rosso, 2007).

En la interpretación del modelo de regresión, se toma en cuenta principalmente el significado de los coeficientes de las variables individuales, con el objetivo de analizar si la variable aporta información relevante. Aquello implica considerar también indicadores como el parámetro p y el error estándar (Koteggoda y Rosso, 2007). El parámetro p es función de R^2 , el número de observaciones y el número de variables independientes. Cuando p es calculado para cada variable independiente, el parámetro prueba la hipótesis nula de que el coeficiente de la variable mencionada es igual a cero; es decir, prueba si la variable independiente tiene o no efecto en la regresión. En términos prácticos, el valor p es un contraste al nivel de significancia q0. Un valor bajo de q0 (menor al valor de significancia q0) indica que la hipótesis nula puede ser rechazada. Al contrario, por ejemplo, si q0 es mayor a un valor q0 de 0.05 (nivel de confianza de 95%), entonces se acepta la hipótesis nula, implicando que es posible que la variable independiente asociada no tenga relevancia en el modelo (q1.q2.q3 variable puede ser excluida del modelo de regresión)

(Koteggoda y Rosso, 2007). Para seleccionar el nivel de confianza, se tomaron límites mayores al 90%.

En el caso de la temperatura media mensual del aire, la predicción se realiza asumiendo que las medias históricas representan de manera adecuada los datos faltantes. No se procedió al relleno de las otras variables debido a que su comportamiento histórico presenta ciclos sin tendencias definidas, lo cual desde el punto de vista estadístico complica las predicciones.

2.2. Predicción del comportamiento futuro

La aplicación de criterios de extrapolación lineal no tiene fundamentos desde la perspectiva del estudio. Por esta razón, se recurrió a la generación de datos futuros a través del modelo estocástico LARS-WG (Semenov y Barrow, 2002). El modelo genera datos sintéticos diarios para una estación a partir de datos meteorológicos observados y realiza predicciones considerando información de las salidas de corridas de modelos de circulación global (GCM). Al respecto, por recomendación de García (2012) el GCM considerado para las predicciones es el ECHAM5, con grilla horizontal de 1.9°x1.9° y desarrollado bajo las percepciones del AR4 (Solomon *et al.*, 2007). El modelo fue utilizado para generar series sintéticas en las estaciones Sajama y Chungará Ajata, como sitios representativos para describir el clima de la zona. Detalles acerca del modelo se presentan en García (2012) y Alanoca (2013). La guía del modelo está disponible en el sitio Web del LARS-WG (Semenov y Barrow, 2002), en adición, una guía de uso fue redactada en una de las pasantías del proyecto y será presentada como uno de sus productos (Alanoca, 2014).

3. RESULTADOS

3.1. Precipitación.- Predicción de datos faltantes y tendencias anuales (series rellenadas) para el tiempo presente

Grupos 1 y 2 (figuras 1 y 2). Sudeste, sudoeste y sur de la cuenca del Lago Titicaca. Las series con más años de registro son Peñas (1955-2001), Charaña (1945-2006) y Calacoto (1950-2012), pero únicamente la tercera presenta registros de precipitación con comportamiento identificable. Peñas tiene un registro con comportamiento poco definido, con tres periodos donde el distinto comportamiento de la precipitación sugiere la existencia de amplios errores en los registros (1965-1977 y 1977-1984); Charaña presenta un par de periodos con posibles errores (1967-1968, 1979-1980) pero los principales inconvenientes son la presencia de un periodo extenso sin datos (1953-1961 y 1966-1967) y la ausencia de registros a partir de 2006; Calacoto presenta un periodo que también extenso sin datos (1961-1970), pero propone un comportamiento interpretable donde la precipitación se incrementa a partir del año 1996, decrece el año 2004-2005 y luego se vuelve a incrementar. Al sudeste de la cuenca del Lago Titicaca, los registros indican que la precipitación anual decrece a partir del periodo 1988-1989, aparentemente manteniéndose estable luego. De manera similar a las conclusiones de Soria (2013), la inferencia de las tendencias futuras a partir de la información histórica, es compleja debido a la corta longitud de la serie y al poco definido comportamiento de las series históricas.

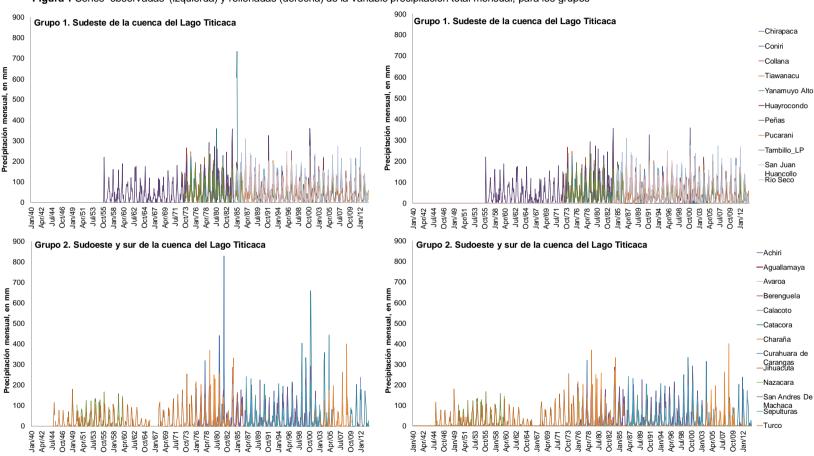


Figura 1 Series observadas (izquierda) y rellenadas (derecha) de la variable precipitación total mensual, para los grupos

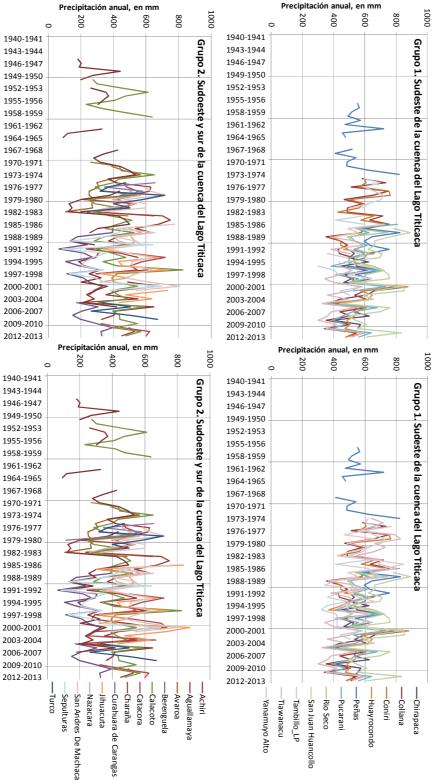


Figura 2 Series anuales de precipitación, observadas (izquierda) y predichas (derecha), para los grupos 1 y 2

Grupos 3 y 4 (figuras 3 y 4). Sudeste, sudoeste y sur de la cuenca del Lago Titicaca. Las series con mayor potencial por la longitud o antigüedad de sus registros son Patacamaya, Ayo Ayo, Calacoto, Calamarca, Comanche, Condoriri, Oruro, Salinas G. de Mendoza y Chuquiña. Un grupo de aquellas estaciones presentan periodos extensos con registros, principalmente antiguos, con comportamiento poco definido y en algunos casos dudoso; tales son los casos de:

- Ayo Ayo: el periodo 1953 a 1972 es notoriamente más seco que el periodo a partir de 1973. Este comportamiento no se observa en las estaciones de Patacamaya o Calacoto.
- Calamarca: aunque es una estación con registros desde 1953, presenta extensos periodos con información dudosa (1961-1970, 1984, 1988-1995, 1997, 1999) y dejó de registrar el año 2001.
- Comanche: con registros de 1967-1992, presenta varios meses sin datos, los cuales tuvieron que ser predichos.
- Condoriri: opera de forma continua de 1964 a 1984 y registra datos esporádicamente en algunos años posteriores (1991, 1993, 1995 y 2004 a 2007). En todo este periodo, solamente el registro de 1972 a 1984 es útil.
- Salinas G. de Mendoza: Registró de 1945 a 1996; sin embargo, debido al comportamiento irregular de la serie, únicamente se considera valioso el periodo 1968-1981.
- Chuquiña: Con información disponible para los periodos 1951-1981, 1995-2000,2004-2005 y 2007-2013. La enorme laguna de información entre 1982 a 1994 quita valor a la información, pero el hecho de que en la actualidad esté en funcionamiento le devuelve relevancia.

En referencia al comportamiento de la variable en la región, con alturas de precipitación menores a las registradas en la zona del Lago Titicaca (grupo 1), existe un leve incremento de la precipitación desde el año 2009; sin embargo, no se observa tendencias definidas que sugieran incremento o disminución histórica.

Grupos 5 y 6 (figuras 5 y 6). Este y sur de la cuenca del Lago Poopó y cuenca del río Sajama. Las series con mayor número de años de registro son Challapata Tacagua (1942-1949, 1960-1997, 2007-2011), Pazña (1944-1959, 1990-2004), Salinas G. de Mendoza. Esta zona es la más complicada de analizar, porque las series contienen lagunas extensas de información; tal situación es más crítica en el grupo 6 Sajama, donde la serie más antigua es Sacabaya con 11 años de datos (1973-1984) y la serie más extensa es Todos Santos Oruro con datos desde 1976 a 2012 con una laguna de información de 1985 a 1990.

Tomando como referencia las series de Challapata, Pazña y Todos Santos Oruro, en una zona con alturas de precipitación anual similares a la de la zona del Lago Poopó, no se observa tendencia al incremento o disminución de la precipitación.

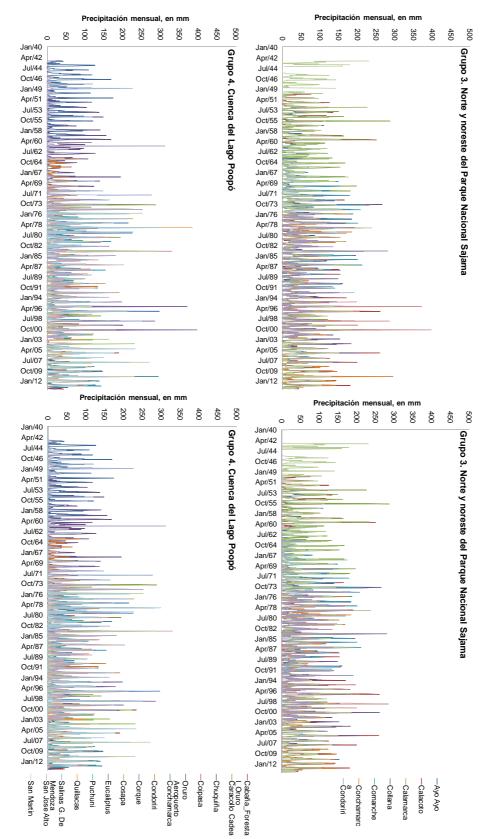


Figura 3 Series observadas (izquierda) y rellenadas (derecha) de la variable precipitación total mensual, para los grupos 3 y 4

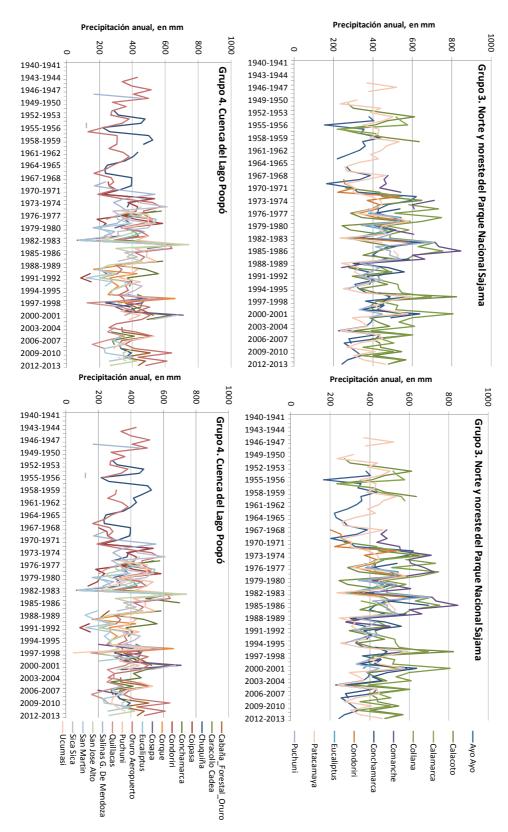


Figura 4 Series anuales de precipitación, observadas (izquierda) y rellenadas (derecha), para los grupos 3 y 4

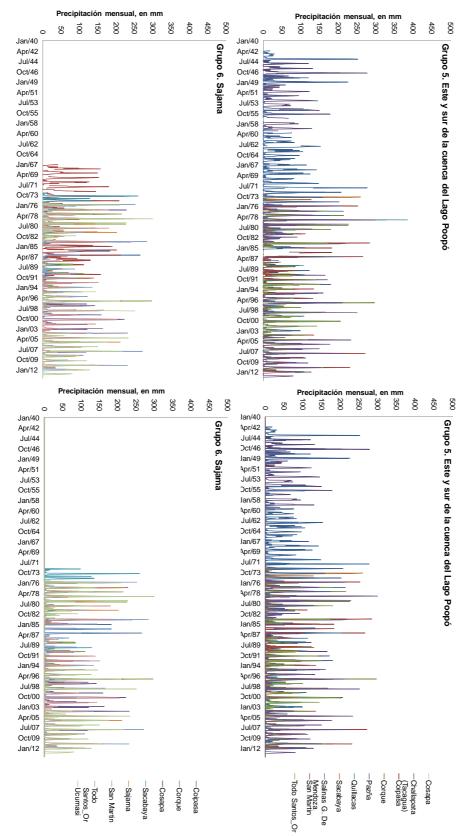
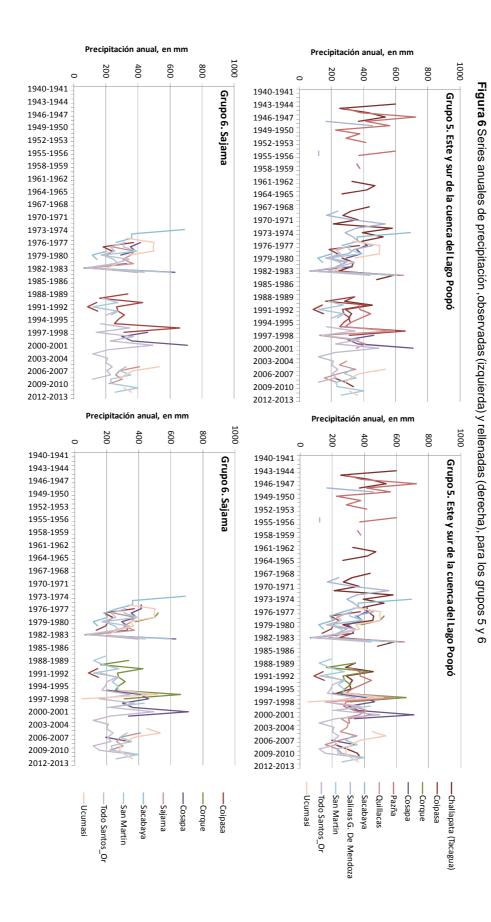


Figura 5 Series observadas (izquierda) y rellenadas (derecha) de la variable precipitación total mensual, para los grupos 5 y 6

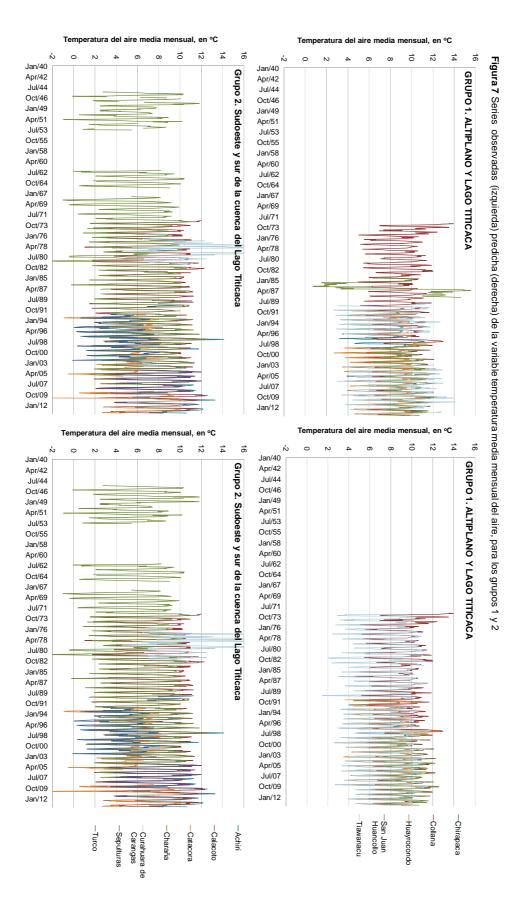


3.2. Temperatura del aire.- Relleno de datos faltantes y tendencias anuales (series rellenadas) para el tiempo presente

La tendencia de las series históricas sugiere un comportamiento claro y marcado hacia un futuro más caliente. En el grupo 1 (figuras 7 y 8), las tasas de incremento son de 0.013°C por año para la zona del sudeste de la cuenca del Lago Titicaca (temperaturas medias del aire entre 10 y 7 °C) y 0.030°C por año al sudoeste y sur de la cuenca del Lago Titicaca (temperaturas medias del aire entre 8 y 6 °C) (ver figuras 7 y 8). Este incremento implica que para un periodo histórico de 50 años, la temperatura media del aire se incrementaría para la región sur del Lago Titicaca en un rango de 0.65°C (sudeste) a 1.5°C (sur y sudeste), asumiendo que la tendencia permanece lineal y que la tasa de incremento se mantiene aproximadamente constante.

Hacia el sur de la cuenca del Lago Titicaca, al norte y noreste del Parque Nacional Sajama (grupo 3, figuras 7 y 8), la tasa de incremento de la temperatura varía de 0.13°C por año (estación Collana, al este de la zona) a 0.009°C por año (estación Calacoto, al oeste de la zona), implicando incrementos en 50 años de 0.65°C a 0.45°C, respectivamente. Hacia la cuenca del Lago Poopó (figuras 7 y 8), el incremento máximo esperado en función a lo sugerido por la serie Oruro es de 0.043°C por año, implicando que en 50 años la temperatura media del aire se incrementaría en 2.15°C. La última es una tasa notoriamente alta y podría ser atribuida al efecto de isla urbana de la ciudad.

Para el caso de las zonas al este y al sur de la cuenca del Lago Poopó y en la zona de influencia de la cuenca del río Sajama, las temperaturas medias del aire son menores a los del grupo 4 (cuenca del Lago Poopó). En cuanto al comportamiento de la variable y a las tendencias descritas, existe muy poca información, con datos inclusive contradictorios que sugieren la presencia de errores en la información colectada por estaciones tales como las de Comanche.



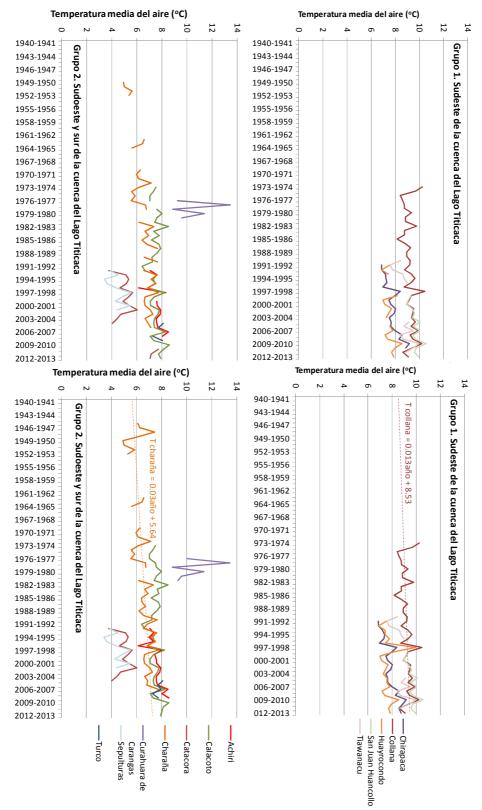
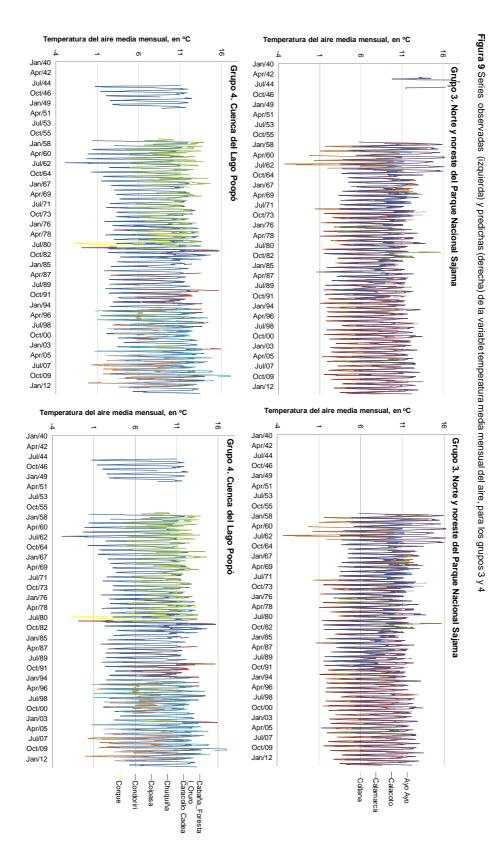


Figura 8 Series anuales de temperatura media del aire, observadas (izquierda) y predichas rellenadas (derecha), para los grupos 1 y 2



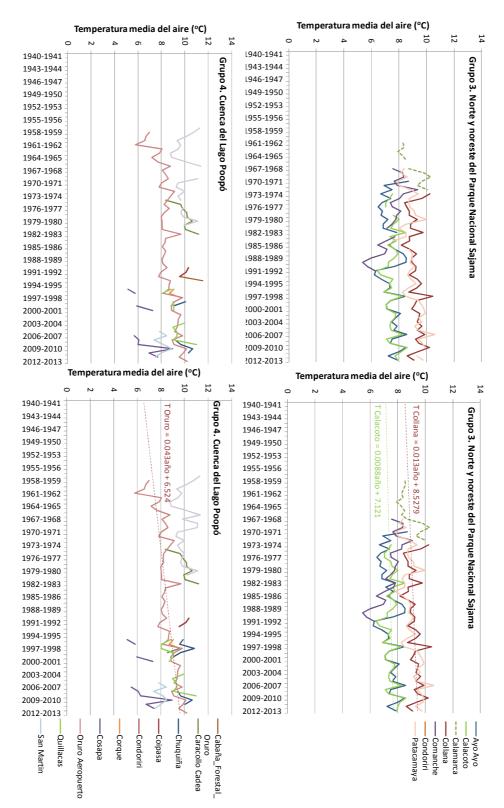
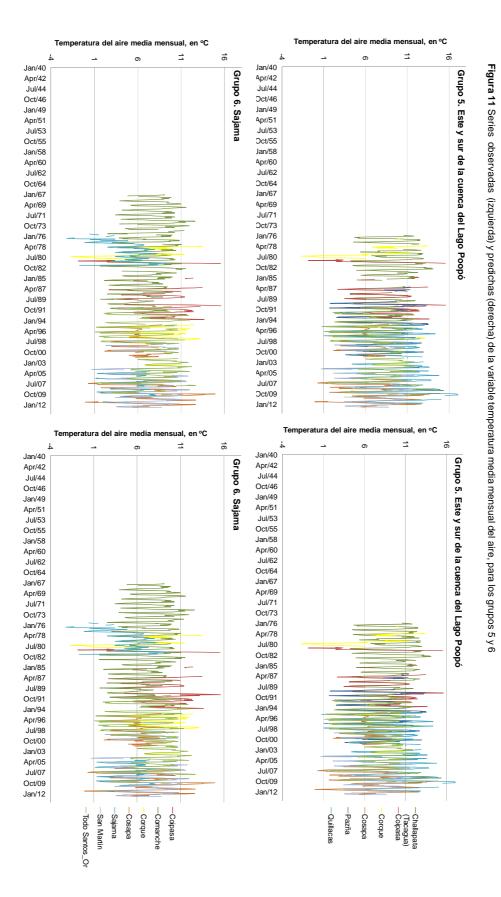
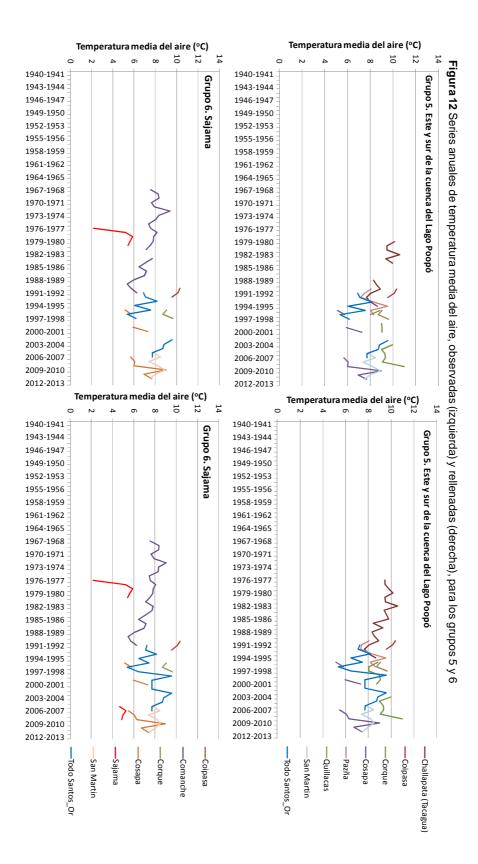


Figura 10 Series anuales de temperatura media del aire, observadas (izquierda) y rellenadas (derecha), para los grupos 3 y 4



QΤ



3.3. Posible comportamiento futuro de las variables precipitación anual y temperatura media anual del aire

Las tendencias descritas por los registros históricos proporcionan un parámetro para entender de qué manera se comportará el clima en el futuro. En el mismo tema, con el objetivo de aportar conocimiento adicional, se decidió aplicar modelos estocásticos para realizar predicciones adicionales de las variables precipitación anual y temperatura media anual del aire. Los resultados presentados en las figuras 13 y 14 presentan estados probables de las variables para un tiempo no definido entre los años 2046 a 2049 (las predicciones corresponden al periodo y no a un año determinado).

Realizando las predicciones para las estaciones de Chungará Ajata y Sajama (figura 13), el modelo ECHAM5 (AR4) sugiere un futuro con una precipitación con tendencias variadas. Para Sajama, durante la época de lluvias el modelo sugiere una tendencia general a disminuir, y una tendencia mixta con posible equilibrio en algunos años (sin disminuir ni incrementarse) y tendencia a disminuir en otros, para el sitio de emplazamiento de la estación Chungará Ajata. Para el caso de la época de transición y la época de estiaje, en Sajama la tendencia es mixta, mientras que para Chungará Ajata la tendencia que prevalece sugiere que la precipitación del futuro podría disminuir.

De manera similar a los resultados obtenidos por análisis de los datos observados en las estaciones, la evapotranspiración de referencia, ligada a valores de temperatura media del aire observados y predichos, presenta tendencias claras con un comportamiento que sugiere su incremento en el futuro en la zona baja de la cuenca del río Sajama (estación Sajama, 4255 msnm) y una tendencia estacionaria en la parte alta de la cuenca (estación Chungará Ajata, 4563 msnm) (ver figura 14).

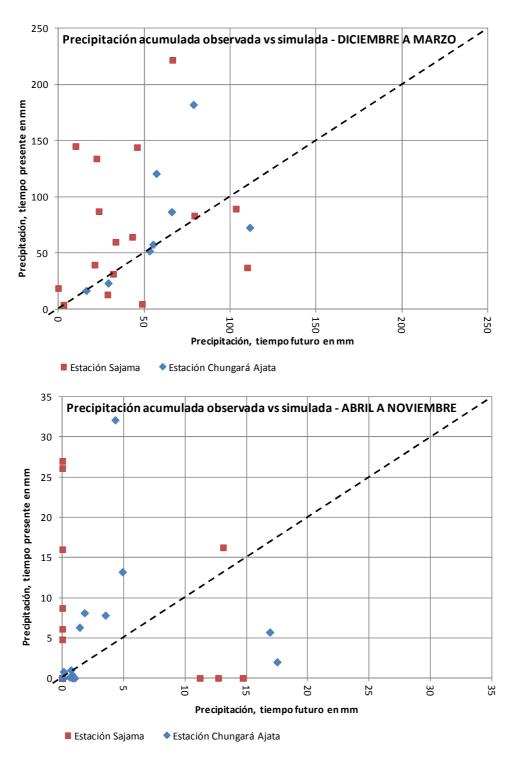


Figura 13 Gráfica precipitación mensual observada vs precipitación mensual simulada, para las estaciones Sajama y Chungará, según el modelo LARS-WG (modelo ECHAM5, AR4). Arriba: datos de la época de lluvias; abajo: datos de la época de transición y época de estiaje

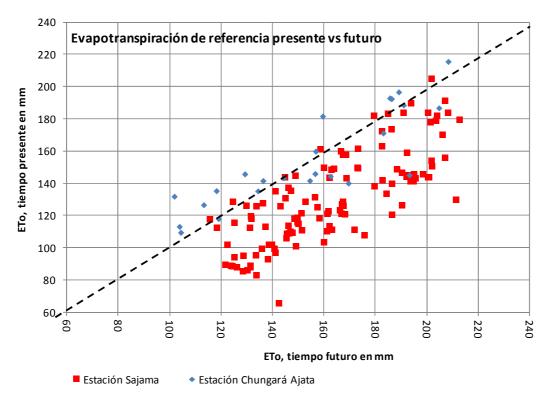


Figura 14 Evapotranspiración media mensual observada vs simulada, para las estaciones Sajama y Chungará, en función a valores de temperatura del modelo LARS-WG (modelo ECHAM5, AR4) y valores calculados a partir de observaciones

4. RESÚMEN, CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

Luego de haber realizado el proceso de corrección a escala diaria, mensual y anual y la predicción a escala mensual de las series de precipitación y temperatura media del aire en 63 estaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI-Bolivia, para la longitud total del récord de datos existente (desde 1943 en algunos casos, hasta parte del año 2013 en otros), se confirma la ausencia de tendencias definidas para las variables precipitación mensual y anual, para los 6 grupos climáticos analizados, que abarcan la región desde el sudeste, sudoeste y sur de la cuenca del Lago Titicaca, parte de la cuenca del Lago Poopó (zona lacustre, este y sur de la cuenca) y la zona hacia el norte y noreste de la cuenca del río Sajama y cuenca del río Sajama. Por otro lado, se confirma la presencia de una tendencia al incremento de la variable temperatura media del aire a escala anual para todas las estaciones analizadas.

En el caso de la temperatura media anual del aire, la tendencia con la tasa más alta de incremento fue observada en la estación Oruro, donde asumiendo una tendencia lineal se estima que en 50 años la variable se incrementó en 2.5°C, probablemente como producto de la influencia de la isla de calor de la ciudad de Oruro. Por otro lado, el menor incremento promedio esperado es para la

región donde está instalada la estación Calacoto, donde en 50 años se observó un incremento promedio de 0.45 °C.

En la zona de la cuenca del río Sajama, la ausencia de información histórica no permitió definir la tendencia del comportamiento de la temperatura media del aire, debido a la muy limitada información disponible y a la dificultad para asociar el comportamiento registrado en las estaciones de la cuenca con el comportamiento de otras estaciones de la región. Para levantar este obstáculo, se decidió inferir el comportamiento futuro de la precipitación y de la temperatura del aire (*i.e.*, de la evapotranspiración de referencia) a través de medios estocásticos. Como resultado, se estima que existe una leve tendencia a que la precipitación disminuya en la parte baja de la cuenca; al mismo tiempo, los resultados sugieren que es posible que el volumen precipitado no varíe en la parte alta de la cuenca. Por los mismos medios estocásticos, se estima la posibilidad de que la temperatura media de la cuenca y por tanto las pérdidas por evapotranspiración se incrementen en la parte baja de la cuenca en los próximos 50 años, mientras que en la parte alta es posible que esta variable sufra cambios que podrían no ser significativos.

Al comparar las predicciones futuras para las estaciones de Chungará y Sajama con otros trabajos tales como el informe de García (2012), se observaron resultados similares aunque con variaciones en las magnitudes predichas en el caso de los cálculos de la ETo. Tal diferencia se debe a que en el caso presente, los resultados corresponden a un cálculo donde se modificaron los parámetros de calibración para la estimación de la ETo, producto de la experiencia durante el proceso de modelación precipitación-escurrimiento realizada para la cuenca; al respecto, los detalles se presentan en los informes de avance de las dos pasantías del proyecto (Alanoca, 2013b y Apaza, 2013).

Entre los obstáculos encontrados está la limitada disponibilidad de información histórica, producto de un deficiente control de calidad en los datos recolectados en las estaciones, dando lugar a la pérdida de varios años de información (inclusive décadas) en muchos casos. En relación a los trabajos futuros, se planea realizar dos tareas: un levantamiento del medio geofísico y la instalación de pluviómetros para inferir de mejor manera la distribución en altura de la precipitación. El levantamiento geofísico debió realizarse en la época de lluvias pero a sugerencia del personal encargado del mismo, se decidió postergarlo para junio, porque los suelos saturados no permitirían obtener lecturas correctas de la conductividad eléctrica de los suelos. La instalación de los pluviómetros se retrasó por problemas logísticos y deberá realizarse como máximo hasta abril.

AGRADECIMIENTOS

El apoyo del personal del SENAMHI al brindar los datos fue fundamental y es altamente agradecido. Se agradece también el apoyo del personal de Agua Sustentable en la logística y a COSUDE en el financiamiento del proyecto. El apoyo del consultor Horacio Lorini es igualmente agradecidos. En la parte de la interpretación de la evolución futura del clima, se agradece el

valioso aporte técnico en el uso del LARS-WG, la interpretación de sus salidas y el procesamiento de los datos, a las pasantes Vilma Alanoca y Viviana Apaza.

5. REFERENCIAS

Alanoca, V., 2013. Primer informe de avance de la pasantía Estudio de relaciones precipitación-escurrimiento en las cuencas de los ríos Sajama (Puente río Sajama), Pisirata, Taypijahuira y Juntuma. Agua Sustentable, La Paz. 46 p.

Alanoca, V., 2013b. Estudio de relaciones precipitación-escurrimiento en las cuencas de los ríos Sajama (Puente río Sajama), Pisirata, Taypijahuira y Juntuma. Segundo Informe de Avance de Pasantía. Agua Sustentable, La Paz. 46 p.

Apaza, V., 2013. Estudio de relaciones precipitación-escurrimiento y potenciales efectos del cambio climático en la oferta de agua de las cuencas de los ríos Sururía, Milluni y Sajama (Caripe-Milluni), en el Parque Nacional Sajama-Bolivia. Segundo Informe de Avance de Pasantía. Agua Sustentable, La Paz. 23 p.

Alanoca, V., 2014. Guía de uso de LARS. Agua Sustentable, La Paz. 6 p.

García, M., 2012. Consultoría de downscalling climático - Proyecto Sajama. Agua Sustentable, La

Kottegoda, N. y Rosso, R., 1997. Estadística, probabilidad y verosimilitud para ingenieros civiles y ambientales. Mc Graw Hill, Nueva York.

WMO (Organización Meteorológica Mundial), 2011. Guía a prácticas climatológicas - WMO No. 100. Tercera Edición. Ginebra.

ORSTOM, 1972. Utilización del programa VECREG. ORSTOM, Paris.

Semenov M. y Barrow E., 2002. Manual version 3. LARS-WG A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. 2365 Albert Street, Room 300, Regina, Saskatchewan S4P 4K1, Canadá. Pág. 4-5.

Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M., Miller, H. (eds.), 2007. Cambio Climático 2007: La Base de la Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Reporte de Asesoramiento del Panel Intergubernamental en Cambio Climático. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Soria, F., 2013. Tendencias climáticas (tiempo presente) en la cuenca del río Sajama - Informe de Avance de diciembre de 2013. Agua Sustentable. 32 p.

UNESCO, 1982. Guía Metodológica para la Elaboración del Balance Hídrico de América del Sur. Grupo de Trabajo Regional para la elaboración de la Metodología para un eventual Balance Hídrico de América del Sur, ROSTLAC (UNESCO), Uruguay.