

USO Y VALIDEZ DE INDICADORES CLIMÁTICOS LOCALES COMO HERRAMIENTAS DE PRONÓSTICOS ADAPTADOS A LA REALIDAD ANDINA

Use and validity of local climatic indicators as tools for locally adapted forecast in the Andes

Magali García¹, Edwin Yucra¹, Cosme Huanca¹, Cristal Taboada¹, Clara Butrón¹, Jere Gilles², Katherine Rojas¹

RESUMEN

La particular condición ecológica de la zona andina con alto riesgo agroclimático, por su altitud, riesgo de heladas y sequías y extrema localización, sólo ha podido ser manejada en forma relativamente sostenible a través del conocimiento logrado a través de generaciones y de una intensa relación de observación e interacción del productor con su medio productivo, que han sido base para que la agricultura se desarrolle desde hace siglos en forma relativamente exitosa. Al presente factores externos de cambio tanto ecológico como social afectan la sostenibilidad, requiriéndose un adecuado sistema de pronósticos y predicción climática, adaptados localmente y orientados a reducir los riesgos de eventos extremos climáticos. Una de las bases para ello, sería que se aumente la credibilidad que los sistemas convencionales de observación climática tienen hacia los sistemas de observación local y tradicional de los productores y para ello se han dado pasos para validar las observaciones de indicadores climáticos usados por los productores con la validación preliminar de dos de ellos.

Palabras clave: Indicadores, eventos extremos, clima, Andes.

ABSTRACT

The particular ecological condition of the Andes with elevated agroclimatic risk, due to its altitude, risk of frost and drought and extreme unique locality, has been relatively sustainably managed only through the knowledge gained with generations and intense relationship of observation and interaction between the producer and its production environment, which in turn has been the basis for agriculture to develop for centuries in relatively successfully manner. Nowadays,

external changing and shaping factors both ecological and social are affecting the sustainability, requiring an adequate system of forecasting and climate prediction locally adapted and aimed at reducing the risks of extreme weather events. A basis for this, would be to increase the credibility that conventional systems have towards local and traditional climate observation systems that producers follow and for that we have taken steps to validate the observations of climate indicators used by producers looking for a preliminary validation of two of them.

Key words: Indicators, extreme extremes, climate, Andes

INTRODUCCIÓN

La zona andina es única en el mundo, debido a su particular ubicación que combina y una elevada altitud y la cercanía con el ecuador, lo que lo permite hacer agricultura en altitudes que serían impensables en otras latitudes. La agricultura, sin embargo, se realiza con elevado riesgo climático, especialmente de enfrentar sequías y heladas, aunque también están presentes las inundaciones y granizadas.

Esta particular condición ecológica de alto riesgo, sólo ha podido ser manejada en forma relativamente sostenible a través de un conocimiento logrado a través de generaciones y de una relación muy intensa de observación e interacción del productor con su medio productivo, la cual ha sido base para que la agricultura se desarrolle desde hace siglos en forma relativamente exitosa. La interacción se refiere a un intenso conocimiento del entorno vegetal, animal y atmosférico y de sus formas de reacción ante el comportamiento de los factores meteorológicos y

¹ IIAREN, Facultad de Agronomía, UMSA

² Universidad de Missouri

ecológicos. De esta manera, los productores andinos tradicionalmente han suplido la falta de pronósticos y respaldo técnico que sean adaptados a sus medios locales, a través de la observación de indicadores intermediarios locales que apoyan su proceso de toma de decisiones sobre cuándo, cuánto, qué y donde sembrar.

Sin embargo, en el entorno andino, la intensificación agrícola, el incremento de la variabilidad climática, la expresión del cambio climático global y los cambios sociales han provocado últimamente desequilibrios productivos que muestran la necesidad de que el productor cuente con un respaldo agro-meteorológico sólido a través de medios de difusión que lleguen a él de acuerdo a su realidad productiva y ecológica que no necesariamente sigue el patrón global y/o regional de cambio. Por ejemplo, a pesar de que en general existe una clara tendencia a la elevación de la temperatura en la zona, esta es muy variable, encontrándose áreas en que las heladas podrían ser más intensas por ejemplo, debido a la aridez local del área. Asimismo la precipitación muestra una variabilidad interanual que difícilmente puede ser explicada con escenarios y modelos climáticos generales cuyos resultados promedios podrían enmascarar extremos de magnitud.

Un adecuado sistema de pronósticos y predicción climática en los Andes debería estar orientado a reducir el impacto socio-económico del cambio y la variabilidad climática y a reducir los riesgos de eventos extremos climáticos. A pesar de que el conocimiento y las herramientas para lograr un adecuado pronóstico climático han avanzado mucho, su aplicación a nivel local para apoyar el proceso de toma de decisiones es muy reducida (Nicholls, 1999; Stern y Easterling, 1999) en general y en particular en los Andes. Las razones se centran en los formatos entregados a los usuarios finales, en la poca credibilidad de estos pronósticos y en la poca integración y credibilidad que los sistemas convencionales de observación climática tienen hacia los sistemas de observación local y tradicional de los productores (Gilles and Valdivia, 2009).

Por ello en este artículo se presenta un análisis de la validez y expresión de los indicadores locales registrado en dos zonas del Altiplano Boliviano durante dos gestiones agrícolas, relacionados con su cumplimiento y potencial de análisis e inclusión dentro de los pronósticos “convencionales”, con el fin de facilitar la comunicación entre los técnicos encargados de la información agrometeorológica y el agricultor que desea mantener su relación con su entorno.

Realidad productiva andina bajo un entorno de permanente riesgo

La diferente magnitud de los sistemas ciclónicos y anticiclónicos que definen el entorno climático de la zona andina tropical, provoca que la precipitación muestre una errática y poco confiable distribución, situación que no ha cambiado sino que más bien parece que se hubiera intensificado bajo un entorno de cambio climático (comunicación verbal de los agricultores). Esta situación combinada con una elevada demanda evaporativa del ambiente y los suelos muy poco desarrollados que se caracterizan por una baja capacidad de retención de agua, incrementan el riesgo de que los cultivos sufran estrés por falta de agua en cualquier etapa de crecimiento. Este efecto es más frecuente y dañino aún en la común agricultura a secano que se realiza en la zona. La estación de lluvias frecuentemente, sufre retrasos en su inicio o sufre falsos inicios que provocan la muerte de las semillas y retrasos en el desarrollo. La duración de la época de lluvias también es muy variable, fundamentalmente debido al inicio de esta, pues su finalización varía mucho menos que el inicio (García et al., 2007). Inversamente, cuando ya el cultivo se ha establecido y en su máximo desarrollo, pueden producirse periodos alternos de excesiva cantidad de precipitación combinada con sequías prolongadas, exponiendo a los cultivos a estreses permanentes y menor productividad.

La variabilidad intra-estacional, también se presenta como un problema en los Andes y en muchos casos lleva a la subestimación de las potenciales pérdidas de los cultivos que tuvieran los agricultores bajo un determinado año. Por ejemplo un año con un total de precipitación suficiente e incluso excedente, podría enmascarar una fuerte sequía durante el mes de febrero o un retraso del inicio de la época de lluvias, la cual podría destruir gran parte de la superficie cultivada.

El retraso y o variación de los periodos de precipitación durante la época de cultivo incrementan también el riesgo de heladas durante el periodo de cultivo. El hecho de que no se presente nubosidad y precipitación por periodos relativamente largos en la época de cultivo, incrementa fuertemente el riesgo de heladas por pérdida de energía terrestre en forma vertical, comúnmente conocidas como heladas radiativas.

Predicciones climáticas basadas en indicadores locales andinos

Diversas investigaciones en la zona andina han subrayado la validez e importancia de las predicciones

realizadas por los agricultores andinos en base a la observación de indicadores climáticos (Calvo et al., 1994, Chirveches, 2006, Claverias, 2000). Sin embargo muchas de ellas no han avanzado más allá de la recolección de la información provista por los agricultores y pocos trabajos muestran resultados de validación de esta información. Orlove et al., (2000) y Orlove et al., (2002) observaron la importancia que los agricultores expresan a las expresiones observadas durante la noche y el amanecer del 24 de junio de cada año. De todas las expresiones reportadas, la observación de las pleyades (una agrupación de estrellas en la constelación Tauro) fue la más resaltada por los productores. Ellos informaron que la observación desde un cerro o elevación similar, mostraría la precipitación que se podría recibir en el siguiente año hidrológico en la zona. Cuanto más visible la constelación, mayor la probabilidad de que el siguiente año hidrológico sea “bueno”; inversamente, la observación de pocas estrellas y borrosas indicaría que el siguiente año hidrológico sería más seco y con poca producción de papa. Un análisis profundo de esta expresión mostró a los autores que esta observación tenía una base atmosférica fuerte relacionada con el índice del fenómeno ENSO y su expresión a través del índice Niño3. Se encontró que el fenómeno ENSO incluye una serie de variables atmosféricas en los Andes Centrales relacionados con la cobertura de nubes tipo cirrus tropicales altos.

Esta información provino de los Datos de Extinción Atmosférica medidos por el Experimento de Gases y Aerosoles Estratosféricos II (SAGE II) que reportan aumentos de cobertura de nubes tipo cirrus tropicales en años cálidos del ENSO en relación con años ENOS fríos sobre los Andes centrales. A una altura de 14.5 kilómetros, la cantidad de nubes aumenta desde aproximadamente 35% en años ENOS fríos a 50 % en años ENSO cálidos. Las nubes cirrus altas tropicales solo enmascararían las Pléyades sin cubrirlas completamente, pues los datos de SAGE II muestran que la mayoría de estas nubes altas son subvisuales y solo oscurecen o hacen borrosa la visión pero no la cubren completamente. Entonces, los cambios en la cantidad de nubes tipo cirrus entre años ENSO cálidos y fríos conducen a cambios en el brillo de las Pléyades reduciendo visiblemente su brillo aparente. La ocurrencia de un año ENSO cálido conduce subsecuentemente a condiciones secas en los Andes centrales con menor precipitación en función a la intensidad del fenómeno.

En otro trabajo de seguimiento a los indicadores, Claverias (2000), reportó un cumplimiento del 70 % de las predicciones realizadas por campesinos

de Puno en relación a la precipitación que debió caer en el año hidrológico 1989-1990, cuando las observaciones se basaron en la observación de la “carigua”, una leguminosa silvestre que abunda en la zona. Su floración indicó que el año presentaría poca precipitación, lo cual ocurrió efectivamente.

Predicciones climáticas estacionales

La comprensión de la variabilidad climática y la posibilidad de predecirla ha sido una de las mayores inquietudes del ser humano desde tiempos antiguos. La posibilidad de predecir el clima ha ocupado el pensamiento de muchos investigadores y por ello se han desarrollado herramientas y modelos que representan la atmósfera global e intentan representar su dinámica. Sin embargo, esto es sumamente complejo debido a las innumerables variables que afectan sus procesos. Por ello, se ha avanzado mucho en la predicción del tiempo meteorológico inmediato, pero la predicción de periodos de tiempo más largos que dos semanas, es poco confiable y sufren mucha incertidumbre. A pesar de ello, existen muchos esfuerzos para desarrollar pronósticos estacionales que puedan apoyar los esfuerzos de los países para mejorar su planificación especialmente en el área agrícola y de producción de alimentos.

El objetivo de esta área de investigación es la predicción estacional de anomalías climáticas con algunos meses de antelación. Para ello se requiere el uso de complejos modelos climáticos que acoplan el océano y la atmósfera y que resuelven las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de la atmósfera, el océano y la biósfera terrestre. Se cree que el océano transmite cierta memoria a la atmósfera debido a su mayor capacidad calorífica permitiendo que algunas características que se expresan en un momento muestran las características atmosféricas en otro. Esta característica permite pensar en un posible incremento del horizonte de predictabilidad asociado a la atmósfera en base a la variabilidad del océano en forma estadística y expresan la probabilidad de que la temperatura y/o la precipitación acumulada en un mes (o estación) vaya a estar por encima/debajo de la climatología (promedio sobre un periodo de tiempo de al menos 50 años). El acoplamiento entre la atmósfera y el océano es muy fuerte particularmente en la región tropical, dando lugar a uno de los principales ejemplos de variabilidad climática estacional como son los fenómenos de El Niño y La Niña. Aunque los fenómenos de El Niño y La Niña tienen su origen en el Pacífico Tropical, el clima en muchos lugares alrededor del mundo se ve afectado por estos eventos. Sin embargo, la intensidad de esta teleconexión depende

fuertemente del lugar y la estación del año (Halpert y Ropelewsky, 1992).

Los modelos climáticos de predicción cada vez son más complejos con el objetivo de analizar nuevas fuentes de predicción estacional asociadas a la humedad de la superficie del suelo, la cubierta de hielo o la circulación estratosférica. Un notable esfuerzo ha sido llevado a cabo en las últimas décadas con el fin de mejorar el conocimiento de los fenómenos físicos responsables de la variabilidad estacional observada y transferir estos avances a los sistemas operacionales de predicción numérica. Actualmente, la mayoría de los grandes centros meteorológicos en todo el mundo han desarrollado sistemas de predicción por conjuntos orientados a la predicción estacional operativa. Estos sistemas están basados en modelos climáticos de circulación general acoplando la atmósfera y el océano. Algunos ejemplos son el sistema de predicción del Centro Europeo de Predicción a medio plazo (ECMWF) (Anderson et al., 2003), el desarrollado por el centro de predicción medio ambiental de Estados Unidos (NCEP CFS), el modelo australiano de predicción POAMA (Wang et al., 2001), y el reciente multi-modelo europeo EURO-SIP resultante del proyecto europeo DEMETER (Palmer et al., 2004).

La base del análisis de los pronósticos estacionales muestra que la ciencia actual se encuentra analizando

numéricamente lo que previamente fue postulado por los productores de los Andes relacionado a que indicadores locales ya sean biológicos o atmosféricos, muestran con antelación cierta probabilidad de que los futuros periodos estacionales se comporten de alguna forma relacionada probabilísticamente a la anterior en respuesta a condiciones ecoclimáticas puntuales que podrían ser resultado de otras ocurrientes a cierta distancia.

METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó en seis comunidades del Altiplano Boliviano, realizando el seguimiento de la observación que realizan los agricultores a los indicadores locales, a través de un acompañamiento continuo y de la aplicación de metodologías cualitativas y cuantitativas

Para analizar en forma general las predicciones de los campesinos sobre el clima y las campañas agropecuarias en 2010-2011 y 2011-2012, se aplicó una encuesta de uso y manejo de indicadores a 37 productores del Altiplano Central y a 33 productores del Altiplano Norte de Bolivia seleccionados al azar en seis comunidades ubicadas en dos zonas agroecológicas distintas (Tabla 1).

Tabla 1. Altitud y número de agricultores entrevistados en las zonas y comunidades estudiadas

Ecozona	Comunidad	Altitud	Agricultores entrevistados
Altiplano Norte	Chojñapata	4241	10
	Cohani	3956	13
	Calahuancane	4056	10
Altiplano Central	San José	3771	11
	Incamaya	3756	10
	Ñacamaya	3762	16

Por otra parte, se hicieron talleres de trabajo con grupos de campesinos seleccionados en razón del mayor conocimiento que tienen sobre los predictores climáticos. Debido a que este tipo de conocimiento tiene carácter especializado entre las familias andinas, la muestra no puede tomarse del universo de población de las comunidades sino de la identificación inicial que se haga de personas que manejen de este tipo de conocimientos. De esta manera en el Altiplano Central se realizó el seguimiento a 10 productores y en el Altiplano Norte a 12 productores quienes

fueron identificados como informantes claves por los restantes productores y se caracterizan como aquellos que mejor conocen y manejan la información de los indicadores locales.

El método principal de acopio de información sobre los indicadores biológicos y astronómicos predictores de clima se basó en entrevistas personalizadas y acompañamiento permanente de los productores observando criterios dirigidos a establecer la expresión de los indicadores.

RESULTADOS DISCUSIÓN

Número total de indicadores manejados por los productores

Los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas en ambas ecozonas sobre el uso y conocimiento de indicadores locales climáticos revelan que aunque

ambos ecosistemas se encuentran en el altiplano, en la parte Norte cercana al lago se muestra mayor diversidad y cantidad de indicadores manejados por los productores. La Tabla 2 presenta el número de indicadores vegetales, animales, de astros y meteorológicos que son observados en ambas zonas.

Tabla 2. Número y tipo de indicadores observados por los productores identificados

Tipo de indicador	Altiplano Norte	Altiplano Central
Fitoindicador	7	4
Zooindicador	8	6
Astros	3	2
Meteorológicos	4	3

La mayor cantidad de indicadores identificados en el Norte del Altiplano en comparación de la parte central de este, podría estar relacionada a su clima más benigno que permite una mayor biodiversidad. Por otra parte Gilles et al., (2013) reportan que en la zona Central existe una fuerte y rápida pérdida del uso de indicadores por razones relacionadas a factores socioeconómicos como ser la migración o el desinterés de los jóvenes señalando que la variación climática no es considerada como una razón fundamental para su pérdida. Es interesante mencionar que en comparación a estos resultados, Torrez (2006) en un estudio llevado en Piura-Perú en una pequeña cuenca con gran variación altitudinal, identificó 36 indicadores de flora, 35 indicadores de

fauna y 21 indicadores astro-ambientales, números que superan abundantemente los identificados en el presente estudio y que podrían confirmar que las condiciones ambientales más benignas permitirían mayor diversidad de indicadores, obviamente aislando los demás factores de influencia.

También se ha identificado los periodos de expresión de los indicadores identificados y estos coinciden en ambas zonas siendo que se extienden mayormente entre Junio y Noviembre, casi no mostrando expresión durante el periodo de cultivo. Las Figuras 1 y 2, muestran la consolidación de los periodos de expresión de los indicadores identificados en ambas zonas del Altiplano Boliviano.

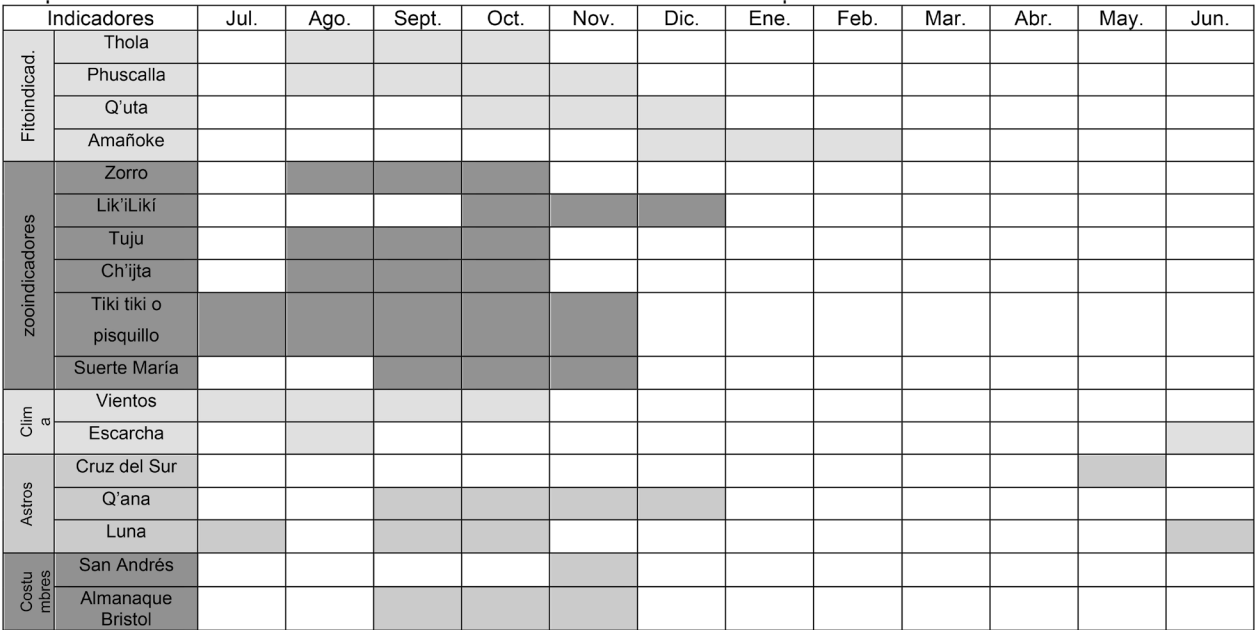


Figura 1. Calendario de expresión de los indicadores climáticos locales identificados en tres comunidades del Altiplano Central boliviano (Iñacamaya, San José e Incamaya)

Indicadores		Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
Fitindicad.	Sankayo												
	Phuscalla												
	Q'uta												
	K'ua												
	Qariwa												
	Laq'u												
	Thola												
zooindicadores	Zorro												
	Wallata												
	Tiki tiki												
	Cusi cusi												
	Sapo												
	Ratón												
	Hormiga												
	Likiliki												
Clima	Vientos												
	Nubes												
	Escarcha												
Astros	Cruz del Sur												
	Q'otu												
	Luna												
	Arado												
Co stu	Año nuevo Aymara												

Figura 2. Calendario de expresión de los indicadores climáticos locales identificados en tres comunidades del Altiplano Norte boliviano (Chojñapata, Cohani y Calahuancane)

Los meses de expresión de los indicadores muestran indicios acerca de las razones que desencadenan su expresión. Las temperaturas extremas del invierno altiplánico y la muy baja humedad atmosférica, impiden o reducen la expresión de cualquier indicador biológico en los meses de Mayo, Junio y Julio, pero a su vez los cielos poco nubosos favorecen la observación de los astros. En Agosto y Septiembre, las temperaturas mínimas más benignas y la llegada de humedad atmosférica gracias a la circulación global, estimulan la expresión de los indicadores silvestres que, a diferencia de los cultivados, no dependen de las acciones del hombre, por tanto responden a su medio ecológico. La poca expresión, mencionada por los productores desde Diciembre a Abril, no necesariamente se refiere a que los indicadores no se expresan, sino a que no se encuentran dentro del calendario de observación de los productores, por estar ello dedicados a otras actividades.

Expresión de los indicadores durante el periodo de estudio

Aunque las metodologías para llevar adelante los estudios fueron similares en ambas zonas, la recolección y el seguimiento de los productores clave identificados, no produjo la misma calidad de información, pues en el Altiplano Norte se pudo apreciar la expresión de los indicadores con mayor claridad que en el Altiplano Central. La Figura 3 muestra un resumen de los periodos de expresión de los indicadores identificados en el Altiplano Norte. Similarmente en el Altiplano Central, se pudo identificar que los indicadores presentan su mayor expresión entre los meses de Junio a Diciembre para luego disminuir y casi no expresarse hasta el próximo Junio.

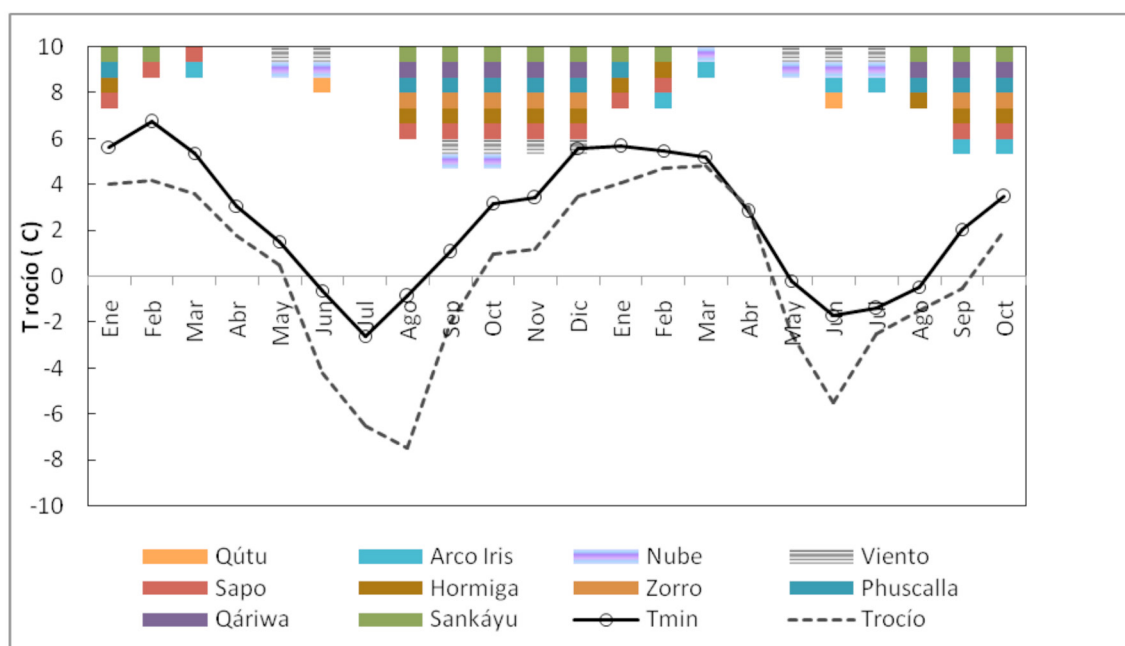


Figura 3. Periodo de expresión de los indicadores identificados en el altiplano Norte y su relación temporal con la Tmin y la Trocío.

La Figura 3, también muestra los valores de la temperatura de rocío (Trocío) que expresa la cantidad de humedad atmosférica en el ambiente y de la temperatura mínima (Tmin) en la zona del Altiplano Norte. Se aprecia que la época de máxima expresión de los indicadores coincide con el periodo en que claramente se eleva la temperatura de la zona, reducen las heladas y se incrementa la humedad atmosférica como se mencionó previamente.

Interesantemente, cuando la época de lluvias ya se ha establecido, los indicadores no son observados ni siquiera para predecir el final de la época de lluvias. Los pocos comentarios sobre esto, indican que los agricultores se encuentran ocupados en las labores agrícolas y que no existen indicadores confiables durante esta época.

Los resultados anteriores muestran que el estudio de la expresión de los indicadores locales podría coincidir con el principio del pronóstico estacional que está siendo estudiado al presente por laboratorios meteorológicos alrededor del mundo. Es decir que las condiciones meteorológicas expresadas por la zona en cierta época del año, promueven y estimulan la expresión de bio, zoo o astro-indicadores que consecuentemente se constituyen en la señal indirecta que apoya el proceso de decisión sobre el año agrícola que se llevará adelante en la zona. Estas expresiones podrían estar determinadas por

la dinámica atmosférica global que desde Junio aproximadamente, empieza a interrelacionarse y a promover señales que son observadas en otras zonas del planeta.

Eficiencia de pronóstico de los indicadores más comunes durante el periodo de estudio

Los agricultores clave le otorgan la mayor credibilidad al zorro, la escarcha en San Juan y a la Qáriwa (Altiplano norte) y a la Thola (altiplano central). En el primer caso fue difícil llevar el seguimiento de la expresión del zooindicador. Sin embargo se pudo evaluar las Tmin de San Juan y la presencia de heladas en la primera y segunda quincena de Septiembre y la primera de Octubre para evaluar la eficiencia de la floración de las plantas observadas. En el primer caso, la presencia de escarcha está relacionada con la humedad ambiental y con la temperatura mínima alcanzada durante la noche. Para los agricultores, un cielo despejado en el amanecer del 24 de junio y sin escarcha en las piedras, indican que el siguiente año agrícola será seco o recibirá precipitación errática en la zona. El cielo despejado es indicativo de baja humedad atmosférica lo cual podría coincidir con temperaturas más bajas por la elevada pérdida de Radiación Terrestre no limitada por el poco vapor de agua de la zona.

Para el caso de la floración ya sea de la Qáriwa o de la Thola, la observación realizada se refiere a la floración que ocurra exitosamente en Septiembre y Octubre. Como se observó en la Figura 3 estos meses muestran la máxima expresión de las plantas por el incremento térmico y de humedad ocurrente en la zona. Sin embargo si ocurren heladas, esto provocará que las flores sean dañadas y no se expresen. Por ello se evaluó la temperatura mínima durante la primera y segunda quincena de Septiembre y la primera de Octubre equivalentes a la observación de la floración que corresponden a indicaciones para realizar primera (temprana a mediados de Octubre), segunda (media a inicios de Noviembre) y/o tercera siembra (tardía a finales de Noviembre).

Los resultados de ambas expresiones se presentan en las Figuras 4 y 5 para las zonas del Altiplano Norte y Altiplano Central respectivamente. La mayor cantidad de datos diarios disponibles permitió analizar tres años en las comunidades del Altiplano Central y solo dos en el Altiplano Norte.

Las Figuras 4 y 5 muestran que las temperaturas ocurridas en San Juan presentaron una notoria correlación con la precipitación del siguiente año hidrológico, lo cual es confirmado, aunque con pocos

datos, en la Figura 6 a) y b). Igualmente se aprecia, en ambas zonas, que las temperaturas más bajas que pudieron producir daños en las flores de Thola y/o Qáriwa se relacionan con consecuentes periodos de siembra con poca o ninguna precipitación. Por ejemplo en el Altiplano Central, en 2009, en la primera quincena de septiembre, se presentaron temperaturas muy bajas, con presencia de heladas diarias, mientras que la segunda quincena de Septiembre y la primera de Octubre presentaron temperaturas más benignas por encima de 0°C que permitieron el desarrollo y la expresión de las plantas. A estos comportamientos les siguen que si la papa se hubiera sembrado en la primera siembra, hubiera sufrido de un largo periodo sin lluvia, en cambio, la segunda y tercera siembra se muestran más adecuadas para llevar adelante el cultivo con poco estrés.

Similar comportamiento se presenta en el Altiplano Norte cuando en 2009, la evidente presencia de heladas hubo dañado fuertemente a las flores a inicios de Septiembre. Posteriormente, la segunda quincena de Septiembre y la primera de Octubre muestran temperaturas más benignas que coinciden con mejores condiciones pluviométricas a partir de Noviembre

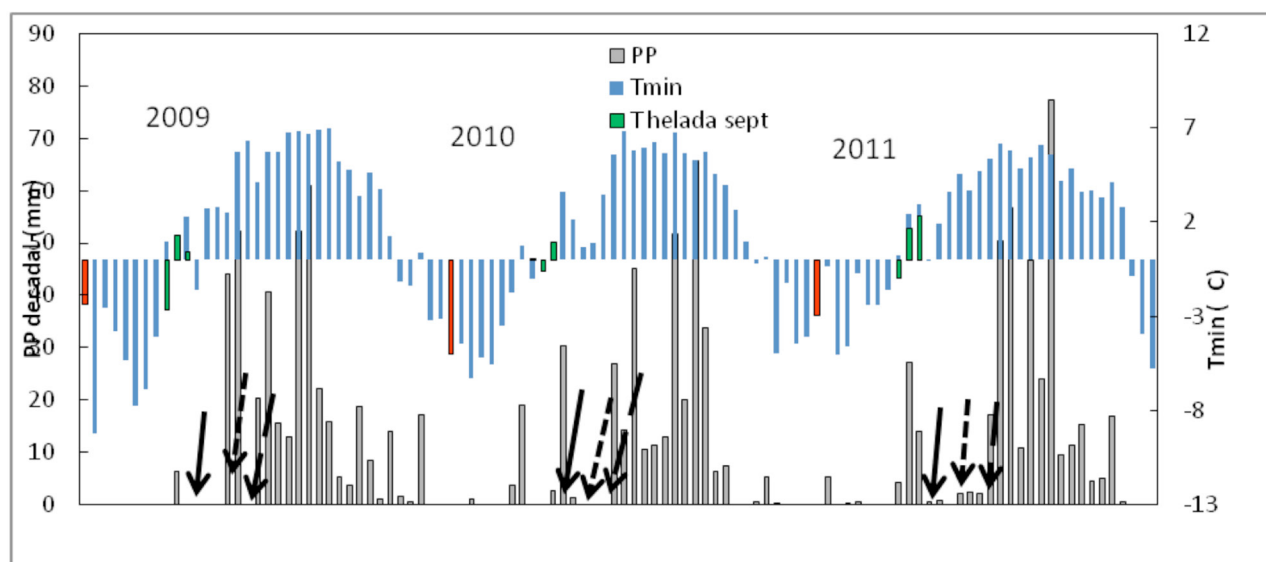


Figura 4. Comportamiento decadiario de la época de lluvias en 3 años agrícolas en el Altiplano Central boliviano y Tmin promedio decadiaria en el mismo periodo desde 2009-2010 hasta 2012-2013. Las columnas rojas presentan la temperatura mínima ocurrida en la madrugada del 24 de junio. Las columnas verdes muestran las Tmin en el periodo de expresión de la Th'ola y de la Qáriwa. Las flechas muestran los periodos en los que se asume la primera siembra (línea completa), segunda siembra (flecha con punteado corto) y tercera siembra (flecha con punteado grueso).

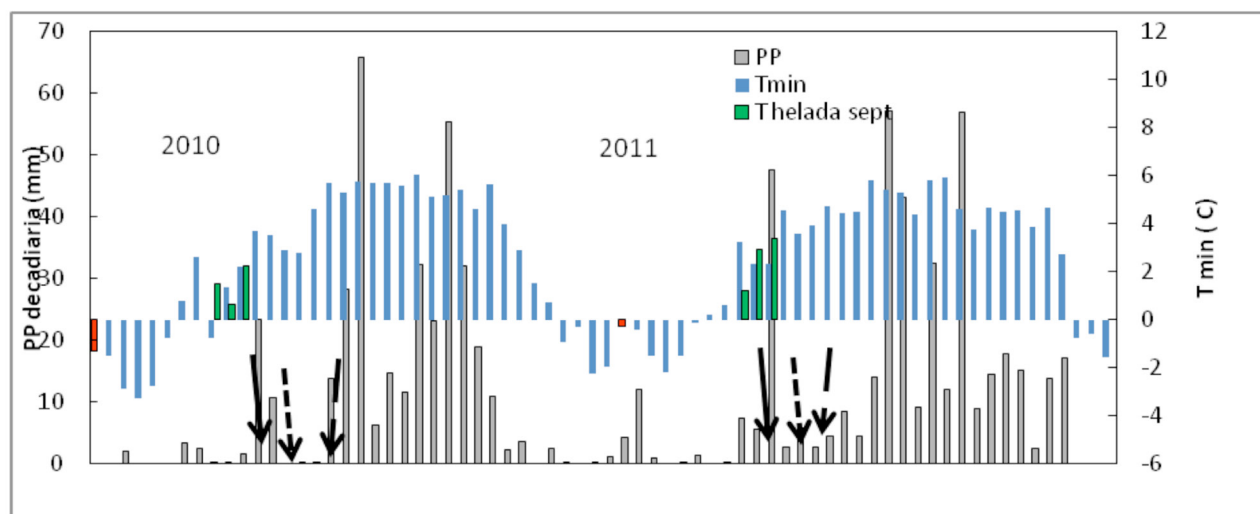


Figura 5. Comportamiento decadiario de la época de lluvias en 3 años agrícolas en el Altiplano Norte de Bolivia y Tmin promedio decadiaria en el mismo periodo desde 2010-2011 hasta 2012-2013. Las columnas rojas presentan la temperatura mínima ocurrida en la madrugada del 24 de junio. Las columnas verdes muestran las Tmin en el periodo de expresión de la Th'ola y de la Qáriwa. Las flechas muestran los periodos en los que se asume la primera siembra (línea completa), segunda siembra (flecha con punteado corto) y tercera siembra (flecha con punteado grueso).

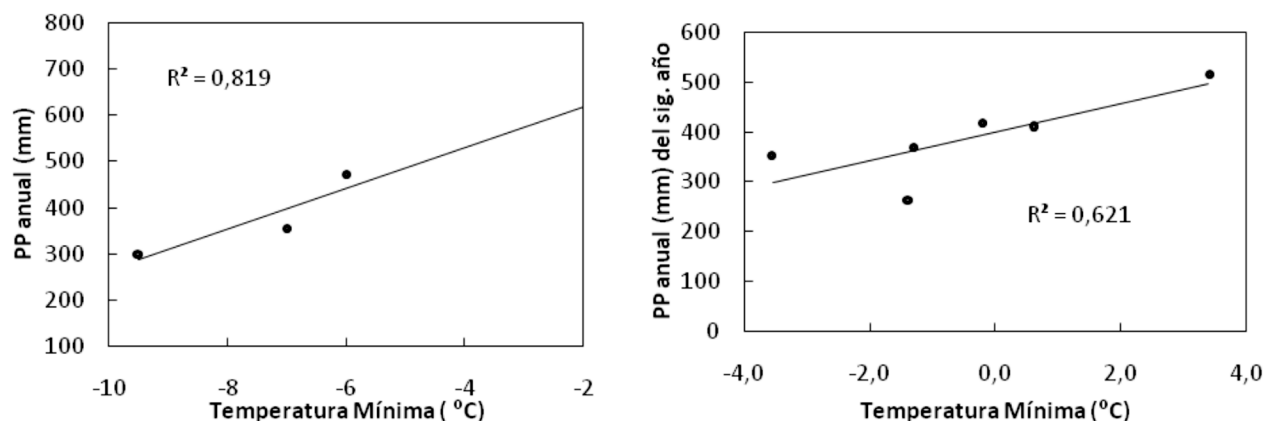


Figura 6. Relación Tmin y precipitación recibida en el siguiente año hidrológico en (izq.) 3 comunidades del Altiplano Central y (der.) 2 comunidades del Altiplano Norte

Estudio de indicadores con potencial de extrapolación hacia otras zonas

El valor de las expresiones mostradas por los indicadores observados por los productores fue evaluado en función de su confiabilidad y su potencial de extrapolación. En este sentido, los productores ponen mucho énfasis a las observaciones realizadas en el solsticio de invierno hacia la escarcha que se forma en las piedras de la zona. Dada la confiabilidad que otorgada y la relativa facilidad para encontrar los datos de Tmin de algunos observatorios altiplánicos, se realizó un estudio sobre la relación de las

temperaturas mínimas alcanzadas el 24 de junio de varios años en las estaciones meteorológicas de Patacamaya, El Alto, Oruro y Caracollo, estaciones situadas en el Altiplano Norte y Central de Bolivia con registros relativamente largos y confiables de Tmin diaria. La Figura 7 muestra que efectivamente las temperaturas mínimas de muchas localidades de la zona altiplánica presentan una fuerte correlación con la precipitación del siguiente año hidrológico. En su estudio relacionado a la visibilidad de las

Pleyades, Orlove et al. (2000) y Orlove et al. (2002), describen que su menor visibilidad hacia el Este de los Andes cuando los años no serán favorables hidrológicamente, se debería a una acumulación de humedad en la atmósfera alta del Este de Sud América que es impedida de llegar a los Andes

por la fuerza de empuje del anticiclón del Pacífico que trae condiciones secas desde el Oeste (Figura 8). Este mismo proceso, podría ser el que provoca condiciones de baja humedad atmosférica, que favorece la reducción de la temperatura mínima.

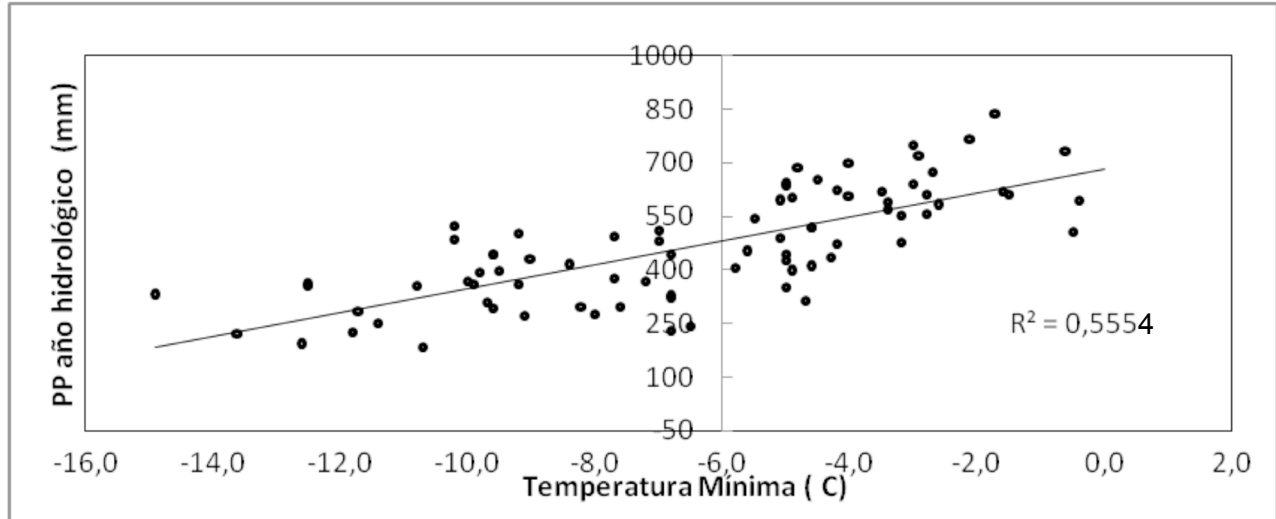


Figura 7. Relación Tmin y precipitación recibida en el siguiente año hidrológico en (izq.) 3 observatorios meteorológicos del Altiplano Central y del Altiplano Norte de Bolivia

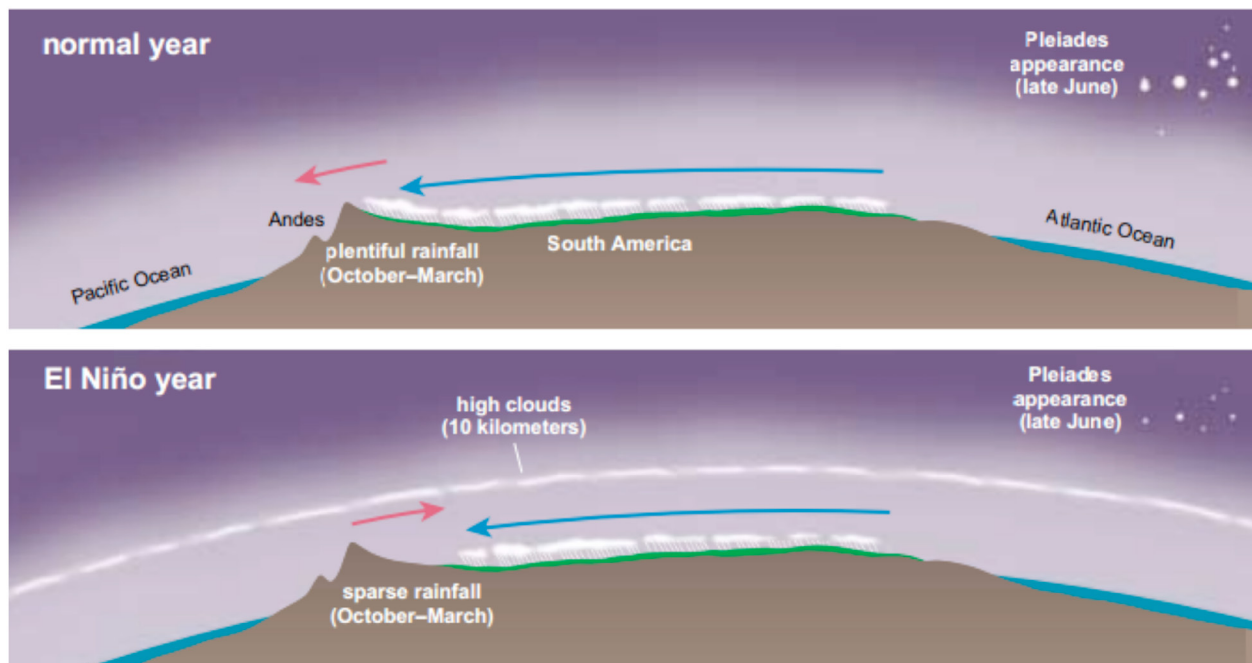


Figura 8. Esquema propuesto por Orlove et al. (2002) para explicar la reducida visibilidad de las Pleyades en el Este de los Andes. Obsérvese la reducida nubosidad que arriba al Altiplano

CONCLUSIONES

El estudio ha demostrado que la expresión y observación de los indicadores locales que los productores andinos realizan en forma permanente y desde tiempos antiguos, es rescatable más allá de los análisis etnográficos y antropológicos y que su validez puede ser mostrada aunque son necesarios más estudios detallados al respecto.

Es claro que si se relacionan los estudios que han surgido en las últimas décadas sobre las predicciones estacionales y las teleconexiones globales con la tradicional lectura de indicadores que realizan los productores desde Junio de cada año agrícola, se pueden encontrar similitudes y equivalencias. Es innegable que la visión y el objetivo de esta información son diferentes pero las bases técnicas y atmosféricas son comparables. La cultura andina es operacional para establecer estrategias de sobrevivencia y desarrollo a nivel práctico y en forma global sin separar los elementos meteorológicos, llegando a pronosticar años agrícolas “buenos”, “regulares” o “malos”, aunque sin absolutismos. Otros estudios han mostrado que aunque los indicadores muestren una clara tendencia a un tipo y tiempo de siembra, el productor andino mantiene el concepto de riesgo y aunque da prioridad a la época señalada por los indicadores, no deja de sembrar en otras épocas y zonas, manejando en forma práctica el concepto de probabilidad que usan los meteorólogos y climatólogos. Bajo este esquema adicionalmente usa niveles de validación de las lecturas que reducen los errores posibles a través del intercambio del conocimiento con otros observadores.

La previsión científica difiere de la predicción de los agricultores tradicionales en escala y en medida de los predictores pero no necesariamente en las bases técnicas. Algunos de los principios de los predictores como la dirección del flujo del viento, el cambio de temperatura, o la presencia de heladas en determinadas fechas se relaciona directamente con los indicadores técnico-científicos, mientras que otros, como la floración dañada de las plantas, lo hacen en forma indirecta si se observa la razón para su ocurrencia como se demostró aquí. Las escalas obviamente son también diferentes. El pronóstico tradicional es muy local y específico, sobre todo en los andes que presentan microambientes que son observados localmente. La previsión científica se genera en grandes escalas geográficas, y generalmente se refiere y basa en observaciones meteorológicas globales.

Aunque la fiabilidad de los indicadores tradicionales no es definitiva, si se la maneja en conjunción con la información técnica científica, ambas podrían potenciarse en su validez y aplicabilidad, complementándose en lugar de oponerse. Por ejemplo el pronóstico tradicional podría ayudar al agricultor a preparar el momento y la distribución de la siembra, mientras que una previsión científica podría hacerlo para prepararse para la cantidad de lluvia que será recibida y a trabajar en tareas de alerta temprana como el avance de las heladas o la intensidad esperada de la sequía. Es importante entonces, juntar y valorar ambos sistemas de conocimiento de tal manera de sintonizarlos para lograr mejorar la preparación del agricultor andino ante la cada vez más errática tipología de los años agrícolas que se presentan.

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D., T. Stockdale, L. Ferranti, y M. Balmaseda. 2003: The ECMWF seasonal forecasting system, ECMWF Newsl., 98, 17 – 25.
- Calvo, L. M., P. Regalsky, C. Espinoza, y T. Hosse. 1994. Raqaypampa: Los complejos caminos de una comunidad andina. Cochabamba: CENDA.
- Chirveches, M. R. 2006. Sistematización de fichas de indicadores locales para la prevención y la gestión local de los riesgos en la producción agropecuaria. Cochabamba: UMSS-AGRUCO-COSUDE.
- Claverías, R. 2000. Conocimientos de los campesinos andinos sobre los predictores climáticos: Elementos para su verificación. pp. 42: http://fullnulled.com/doc/pdf/download/clima__missouri__edu--Articles--Claverias_Bioindicadores.pdf
- García M., D. Raes, S.-E. Jacobsen, y T. Michel. 2007. Agroclimatic constraints for rainfed agriculture in the Bolivian Altiplano. *Journal of Arid Environments* 71 (2007) 109–121
- Gilles J., y C. Valdivia. 2009. “Forecast Communication in the Altiplano,” *Bulletin of the American Meteorological Society* 90(1):3-8.
- Gilles J., Yucra E., García M., Quispe R., Yana G., y Fernández H., 2013., Factores de pérdida de los conocimientos sobre el uso de los indicadores locales en comunidades del Altiplano norte y central. En: Cambio climático y adaptación en el Altiplano boliviano. CIDES-UMSA. La Paz-Bolivia.
- Halpert, M. S., y C. F. Ropelewski, 1992: Surface temperature patterns associated with the Southern Oscillation. *J. Climate*, 5, 577-593.
- Nicholls, N., 1999: Cognitive illusions, heuristics and

- climate prediction. Bull. Amer. Meteor. Soc., 80,1385–1397.
- Orlove, B., J. Chiang y M. Cane. 2000. Forecasting Andean rainfall and crop yield from the influence of el Niño on Pleiades visibility. *Nature* 403:68-71.
- Orlove, B., J. Chiang, y M. Cane. 2002. Ethnoclimatology in the Andes. *American Scientist* 90:428-435.
- Palmer, T.N., A. Alessandri, U. Andersen, P. Cantelaube, M. Davey, P. Délécluse, M. Déqué, E. Díez, F.J. Doblas-Reyes, H. Feddersen, R. Graham, S. Gualdi, J.-F. Guérémy, R. Hagedorn, M. Hoshen, N. Keenlyside, M. Latif, A. Lazar, E. Maisonnave, V. Marletto, A. P. Morse, B. Orfila, P. Rogel, J.-M. Terres, y M. C. Thomson, 2004. Development of a European multi-model ensemble system for seasonal to inter-annual prediction (DEMETER). *Bulletin of American Meteorology Society*, 85, 853-872.
- Stern, P., y W. E. Easterling, Eds., 1999: *Making Climate Forecasts Matter*. National Academy Press, 192 pp.
- Torrez, F., 2006: Indicadores biológicos y ambientales abióticos predictores de clima en la subcuenca yapatera, distrito de Frias; Ayabaca – Ediciones CEPESER.
- Wang, G., R. Kleeman, N. Smith, y F. Tseitkin. 2001. The BMRC coupled general circulation model ENSO forecast system, *Monthly Weather Review*, 130, 975 – 991.