

EL FRIO Y LA SEQUEDAD: DIFICULTADES EN LAS EVALUACIONES CLIMATICAS DEL ALTIPLANO DE PERU Y BOLIVIA

Pierre MORLON¹, Jean VACHER²

1: INRA, Francia

2: ORSTOM-SENAMHI, Bolivia.

"...porque en aquel valle del Cuzco... y otro comarcanos, y en cualesquiera otros que sean del temple de aquéllos, es muy riguroso el hielo, por ser tierra fría, y daña más al maiz que a otra mies o legumbre, y es de saber que en aquellos valles hiela todo el año, así de verano como de invierno, como anochezca raso,... Viendo los indios a prima noche el cielo raso, sin nubes, temiendo el hielo, pegaban fuego a los muladares para que hiciesen humo, y cada uno en particular procuraba hacer humo en su corral; porque decían que con el humo, se escusaba el hielo, porque servía de cobija. como las nubes, para que no helase." (GARCILASO DE LA VEGA, 1608, libro VII, cap. 5)

"...otro efecto de no menor admiración,... es un trueco, y cambio que la tierra llana (la Costa) hace con su vecina la Sierra que con no ser mucha la distancia que hay de la una a la otra, cuando en la Sierra es verano es en los Llanos invierno, y por el contrario, cuya consideración causa gran confusión a los que no procuran especular las causas de las cosas. (...) y al tiempo que dura este llover llaman invierno los Serranos; por gozar escasamente de la presencia del Sol puesto que pasa por encima de ellos, y por esto no hace tanto frío, ni con gran parte esta temporada que llaman invierno como hace en la que tienen por verano. Volviendo el Sol a pasar otra vez la Equinocial vase acercando al Trópico de Cancer, y por la misma razón alejándose de esta tierra que llaman Llanos... Y así... se osan meter las nubes sobre su territorio tan densas, y espesas... Pues el tiempo que lo tal en esta tierra acontece es llamado invierno y en la sierra verano donde (por el apartamiento del Sol que camina sobre el otro Trópico) hace mucho frío puesto que no llueve...! (Miguel CABELLO VALBOA, 1586, 3era parte, cap. 4).

"(...) la tierra *yunca* es todo el año muy caliente y húmeda, la Sierra muy fría y seca, y los Llanos templadamente calientes y húmedos, con más notable diferencia de invierno y verano que las otras dos;...

...Su temple [de la Sierra], generalmente hablando, es seco y frío todo el año con gran extremo, mayormente los tres meses del invierno (...) pero es menester todo el año, por el rigor del frío y sequedad, que la olla que se ha de comer a mediodía se ponga a cocer desde prima noche. El aire está tan seco, que al desnudarse la persona de noche para acostarse y al sacudir las frazadas de la cama se encienden y saltan muchas centellas, y al decir misa es menester muy gran tiento en el frangir la hostia, porque esta sequisima como una yesca y suelen saltar muchas partículas (...)

...Y con todo eso, el aire y temple de sobre las aguas de la Sierra es tan seco como el que baña las tierras de sus riberas, como lo experimentan los que navegan la gran laguna de Chucuito, que está en lo más frío y seco de la Sierra.

...que dividamos toda la Sierra en algunos grados o andenes, según la altura y calidad de cada uno,... el primero, comenzando por lo alto de la Sierra,... que llamamos en el Perú *Puna* brava... es por extremo fría y seca, con ser la más abundante de aguas del cielo y de la tierra de toda la Sierra; ...De las cumbres de las cordilleras nevadas bajan innumerables arroyos, que se forman de la nieve que continuamente se va derritiendo con los recios soles que hace,...

...nevando tanto, que a veces crece sobre la tierra medio estado [un metro] y más la nieve, no dura mucho tiempo sobre ella sin derretirse, como acaece en Europa. ...se responde ser la causa el gran ardor de los rayos del sol... si bien es verdad que ayuda mucho para que no se hiele el agua de los ríos y lagos ser las noches casi iguales con los días y no tan largas en ningún tiempo del año como las de invierno de Europa,... Con todo eso, no dejan de helarse, ...riachuelos que llevan bastante agua para moler una y dos ruedas de molina; pero no están helados más que desde la ocho o diez de la noche hasta las diez horas del día, que ya los rayos del sol empiezan a cobrar fuerzas.

... si no tuviéramos aquí tan cercano el sol y los días fueran tan cortos como los del invierno de Alemania, no se pudieran habitar estas *punas*. (...)

Al segundo grado y andén,... que también llamamos *puna* y *páramo*,... porque es del mismo temperamento que la primera : frío y seco, aunque en grado más remiso, pero no de manera que deje de helar muy bien; y así muchos años abrasan las heladas las sementeras de *quinua*, *papas*... que aquí se siembran.

En lo cual sucede... que con ser las laderas más frías que los llanos que están al pie de ellas, respecto de estar más altas, con todo eso están más expuestos los sembrados de lo llano a hielos que los de las laderas; y la causa es porque el hielo asienta mejor cuando hace la noche serena y sin vientos, y como en las cuevas y laderas de los cerros casi nunca deja de soplar algún viento, con él se defienden de las heladas los sembrados. Lo mismo acontece en la tierra llana que es airosa, respecto de la que no lo es, que helando muchas veces en esta segunda, no hiela en la primera, por no dejar lugar los vientos a que se siente el hielo. También acontece helarse en una noche todos los panes de una gran vega, y quedar una mancha en medio a que no tocó el hielo, por haberse puesto al tiempo de caer la helada alguna nube sobre el lugar, que lo hizo abrigo y amparo contra el hielo.

Es mucha tierra que participa de este segundo temple de Sierra, porque se incluyen en él las grandes llanadas del Collao y muchos valles y laderas... Hace todo el año frío, de manera que se bebe bien fría el agua;.. en cualquier tiempo del año se siente frío a la sombra, mayormente si corre viento, y mucho más de noche; porque todas la del invierno yela, y las del verano cuando se serena y arasa el cielo.

...bajando de lo alto a lo bajo de la Sierra, se sigue el tercero andén y grado della,... El temple es frío y seco en grado más remiso que en el segundo andén;...

La tierra del cuarto grado y temple de Sierra es templada sin notable frío ni sequedad;...

(...) el temple de cada grado es de tal calidad, que el que decimos ser frío se ha de entender que lo es todo el año, y el caliente también, y ni más ni menos los que ponemos por templados; porque no hay en toda la Sierra variedad de calor y frío con las mudanzas de invierno y verano, que se experimenta en España y en las demás tierras que caen fuera de la tórrida zona." (Bernabé COBO, 1653, Libro II, caps. 7,8 y 9)

Las descripciones del clima de estos cronistas de los siglos XVI y XVII, confirmadas por los grandes viajeros de los siglos XVIII, XIX y XX (Von Humboldt, Carl Troll), **tienen interpretaciones muy claras:**

- El análisis y la descripción del Clima parecen dificultosos ("verano frío", "invierno muy soleado", etc...) y no pueden referirse a los conceptos tradicionales de temperaturas definidas por otros climas, el empleo de los mismos crea confusiones.

- El frío nocturno y la sequedad del aire son descritos como las principales características del clima del Altiplano; muestran grandes variaciones espaciales y asociaciones muy particulares (aire seco en zona de laguna y aunque llueva, frío nocturno intenso con días muy soleados, zonas bajas bastante más frías que zonas altas).

- Las heladas se presentan como el principal factor limitante de la agricultura, pueden ocurrir todo el año cuando el cielo se despeja y cesa el viento, estas heladas son descritas como siendo de tipo radiativo y son combatidas por los campesinos con humo.

Estas particularidades del clima del Altiplano llevaron a los científicos a conclusiones erróneas sobre la clasificación del clima del Altiplano (como húmedo o muy húmedo, frío, etc...) y sobre el origen de las heladas (advecciones polares).

De dónde vienen tales clasificaciones y explicaciones equivocadas?

- Uno de los principales errores sobre la evaluación agroclimática del Altiplano aparece cuando se califica la humedad del clima para los cultivos. Los modelos utilizados se basan sobre estimaciones de la evapotranspiración potencial (ETP) según fórmulas empíricas no verificadas, a casi 4000 m de altura. El principal determinante de la evapotranspiración es la radiación neta (R_n), sea el resultado del balance radiativo. Este muestra en el Altiplano Boliviano, características muy particulares. La altura se traduce por una radiación solar global (R_g) muy alta, teniendo un promedio anual superior a 9 mm/día, (se convirtió la energía radiativa en evaporación de agua), pero paradójicamente con una R_n moderada (Vacher et al. 1989) de 3,2 - 3,5 mm/día, debido a una radiación atmosférica reducida por la altura y la sequedad del aire. Los valores obtenidos a partir de la fórmula de Penman, fórmula reconocida por su precisión y su universalidad (Seguin et al., 1982), y con mediciones de R_n , son del orden de 1100 a 1200 mm/año, para el Altiplano Norte y Central de Bolivia. Los valores de ETP, según una estimación de R_n , son superiores a 1600 mm/año. Al contrario, una muy fuerte subestimación de la ETP se produce con el uso de la fórmula de tipo Thornthwaite, que utiliza como criterio principal la temperatura media. La subestimación que hemos encontrado es superior a 50%, como lo habían mencionado (FRERE et al. (1975) y Banegas y Morlon (1980).

Hay que señalar que la ETP en el Altiplano muestra amplitudes intra-anales reducidas debido a la coincidencia entre el verano astronómico (con máximo factor radiativo) y la época de lluvia (con mínimo factor evaporativo del aire). La estimación de la ETP a partir del tanque de evaporación, puede conducir a errores muy importantes. La ubicación general del tanque en un entorno con mucho suelo desnudo favorece el aumento de la evaporación por advecciones de aire muy seco. El coeficiente de corrección es de 0,6 a 0,7 para la mayoría de las estaciones en el Altiplano Boliviano (Vacher y Atteia, 1988).

La caracterización de la "humedad" del clima para los cultivos y la evaluación del balance hídrico y de las necesidades de riego tienen evidentes implicancias para la política agrícola.

- Otros errores aparecen a veces en la caracterización térmica del Altiplano. El clima para el agricultor se divide principalmente en una temporada seca y una temporada de lluvia. Sin embargo, las temperaturas mínimas muestran una variación intra-anual muy marcada. Los promedios mensuales son inferiores a -6°C en junio-julio y superiores a 4°C en diciembre-enero, lo que determina naturalmente riesgos de heladas muy distintos. Las temperaturas medias mensuales varían también de 2°C a 10°C . Esta variación se deba a las diferencias de temperatura mínima. En efecto, las temperaturas máximas muestran poca diferencias durante el año, los promedios mensuales son superiores a 14°C en el mes más frío e inferiores a 18°C en el mes más caliente. La radiación R_g se caracteriza con valores altos todo el año, el promedio anual es superior a $2200 \text{ J/cm}^2 \text{ día}$, y el mínimo mensual en julio es superior a $1800 \text{ J/cm}^2 \text{ día}$, con una intensidad de radiación al mediodía del orden de $800 - 900 \text{ W/m}^2$ por este mes. Estas características de las temperaturas diurnas y de la R_g impiden el empleo de las denominaciones habituales de verano caliente y de invierno frío.

Las heladas, como han descrito los cronistas de la colonia, son los principales factores limitantes de la agricultura. Las heladas pueden ocurrir todo el año, el riesgo para el cultivo de la papa es, para la mayor parte del Altiplano, superior a 20% en Enero y Diciembre, superior a 30% en Febrero, Marzo y Noviembre y superior a 50% los otros meses. El análisis de las heladas en el Altiplano muestra también una cierta complejidad. Las heladas en el Altiplano son radiativas (Morlon, 1979) y el déficit radiativo nocturno produce el enfriamiento de la superficie, además no corresponden a advecciones de aire polar como lo afirman varios científicos, apoyándose sobre una continuidad de los fenómenos fríos desde el Cono Sur hasta el Altiplano y sobre la ocurrencia real de advecciones polares. Este fenómeno que se produce de Junio a Octubre, afecta fuertemente las llanuras (Santa Cruz, Trinidad) y muy moderadamente el Altiplano, (Ronchail, 1989), donde se traduce en un aumento de la humedad del aire y/o, un aumento de las temperaturas mínima de 3 a 5°C y una disminución de las temperaturas máxima de más de 8°C . Las advecciones polares producen entonces una disminución de los riesgos de heladas. Sin embargo, la ocurrencia de las heladas durante la época agrícola está ligada a advecciones de aire seco (Le Tacon et al., 1991) y están asociadas a un máximo de R_g . De origen radiativo, las heladas en el Altiplano muestran una gran heterogeneidad espacial. Se midió diferencias del orden de 10°C entre las parcelas de un mismo agricultor, según su ubicación topográfica o el tipo de suelo, lo que complica todo intento de zonificación. Así mismo, no existe una relación directa entre la temperatura mínima y la altura. La disminución general de la altura de Norte a sur, corresponde a un aumento de los riesgos de heladas y las zonas de cordillera

presentan durante el invierno temperaturas mínimas más elevadas que el Altiplano (el promedio mensual de t. min. en Junio y Julio para Chacaltaya, a 5200 m, es superior de 2° a 3°C al de Patacamaya a 3760 m), estas inversiones térmicas se deben al drenaje de aire frío.

Estas observaciones sobre el clima del Altiplano nos inducen a las siguientes recomendaciones. El clima del Altiplano debe ser descrito y analizado con mucha cautela, cotejando todo modelo teórico con las observaciones de campo. Se debe reconocer el carácter preciso y válido de muchos textos históricos que parecen muchas veces más acertados que varias publicaciones científicas actuales.

BIBLIOGRAFIA

- BANEGAS M., MORLON P., 1980. Evapotranspiración y aridez. Convenio Perú-Canada, Puno, 49 p.
- CABELLO VALBOA M., 1586. Miscelánea Antártica. Una historia del Perú antiguo. Instituto de Etnología, UNM San Marcos, Lima, 559 p.
- COBO B., 1653. Historia del Nuevo Mundo. Biblioteca de Autores Españoles, Madrid, 1956, 439 + 515 p.
- FRERE M., REA J., RIJKS J., 1975. Estudio agroclimatológico de la zona andina. FAO/UNESCO/OMM, Roma 390 p.
- GARCILASO DE LA VEGA INCA., 1608. Comentarios Reales de Los Incas.
- LE TACON Ph., VACHER J.J., ELDIN M. y IMANA E., 1991. Los riesgos de helada en el Altiplano Boliviano. Comunicación presentada al VII Congreso Sobre Cultivos Andinos. La Paz, Bolivia.
- MORLON P., 1979. Apuntes sobre el problema agronómico de las heladas: el aspecto meteorológico. Convenio Perú-Canadá. Puno. 54 p.
- RONCHAIL J., 1989. Advecciones polares en Bolivia: caracterización de los efectos climáticos Bull. Inst. Fr. Et. And., XVIII, N°1: 65-73.
- SEGUIN B., BRUNET Y. y PERRIER A., 1982. Estimation of evaporation. A review of existing methods and recent developments. In: E.G.S. Mithing Symposium on Evaporation. Leeds. Preprint. 19 p.
- TROLL C., 1931. Die geographische Grundlagen der Andinen Kulturen und des inkareiches. Ibero-Amerikanisches Archiv, Berlin, 5: 258-294.
- VACHER J., ATTEIA O., 1988. La radiación neta y la evapotranspiración potencial en el Altiplano Boliviano. Informe ORSTOM-CEE. La Paz, Bolivia. 20 p.
- VACHER J., ATTEIA O., IMAÑA E., CHOQUEVILCA J., MALDONADO R., 1989. Net radiation and Evapotranspiration on the Bolivian Altiplano. Third Intl. Conf. on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Buenos Aires, Amer.. Met. Soc., Boston: 169-172.
- VON HUMBOLDT A., 1817. Prolegomena de Distributione Geographica Plantarum.

ACTAS DEL
VII CONGRESO
INTERNACIONAL
SOBRE CULTIVOS
ANDINOS

LA PAZ BOLIVIA 4 AL 8 DE FEBRERO DE 1991



EDITORES: D. MORALES Y J.J. VACHER



CRSTOM



ACTAS DEL VII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CULTIVOS ANDINOS

La Paz - Bolivia, 4 al 8 de febrero

Editores

D. Morales y J.J. Vacher

IBTA

INSTITUTO BOLIVIANO DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

ORSTOM

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

CIID-Canada

CENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

La Paz, 1992