



NOTA TECNICA

Cambio Climático - Estado del Arte.

Climatic Change – State of art.

ELIZABETH SILVESTRE ESPINOZA¹ & WALDO LAVADO CASIMIRO¹

¹ *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI, Casilla 11 1308, Lima 11, Perú.
esilvestre@senamhi.gob.pe*

La cordillera de los Andes en Perú (1 285 216 km²) determina la presencia de tres grandes sistemas de drenaje, uno hacia el Océano Pacífico hacia el este de los Andes (VP), el otro hacia el río Amazonas en el oeste de los Andes (VA) y hacia el sur está la cuenca endorreica del lago Titicaca sobre el Altiplano (VT). El balance multianual de recursos hídricos sobre el Perú (diferencia de precipitación y evapotranspiración) ha sido estimada para el período 1969-1999 por UNESCO(2006). Eso resulta que la disponibilidad de agua superficial es de 16.4 mm en la VP, 129.8 mm en la VT y 2696.6 mm en la VA. Desafortunadamente, la disponibilidad de recursos hídricos en Perú es opuesto a la densidad de población ya que el 88% de la población vive en la VP, alrededor del Lago Titicaca y en la zonas andinas de la VA donde solamente se concentra el 2% de los recursos hídricos.

El comportamiento de la hidroclimatología peruana es influenciada por la variabilidad de los patrones de circulación a larga escala causada por la cordillera de los Andes, las diferentes condiciones de los océanos que nos rodea y la distribución del relieve terrestre (Garreaud et al., 2008). Las bajas intensidades de las lluvias al sur de la VP es explicada por la fuerte subsidencia de larga escala sobre el sur este subtropical del Océano Pacífico y las condiciones de extrema aridez se deben a condiciones de factores regionales (Rutllant et al., 2003). Las lluvias anuales sobre el Perú se incrementan hacia el norte en concordancia

con el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). UNESCO(2006) estima los valores de lluvia y escorrentía en la VP de 274.3 mm y 168.1 mm respectivamente durante el período 1969-1999. La cuenca del río Santa es una excepción sobre la Costa del Pacífico debido a que sus regímenes hidrológicos están influenciados por la presencia de 600 km² de glaciares que están en proceso de retroceso glaciar (Georges, 2004).

Por el contrario la VA presenta condiciones bastante húmedas hacia el este de los Andes, debido a la convección de humedad y al aire caliente que se transforma en evapotranspiración de los bosques amazónicos y en advección de aire húmedo del Atlántico Tropical. Según UNESCO(2006), la lluvia media sobre la VA durante el período 1969-1999 es de 2060 mm. Pero fuertes y bajas intensidades de lluvias (entre 6000 y 250 mm/año) pueden ser observados entre estaciones cercanas debido a la ubicación de sotavento y barlovento de las estaciones meteorológicas (Espinoza et al., 2009b). Además, la precipitación anual tiende a disminuir con la altitud siendo menos de 1500 mm sobre los 2000 m.s.n.m. (Espinoza et al., 2009b). UNESCO(2006) estima que la media anual de lluvia y escorrentía durante el periodo 1969-1999 son de 813.5 mm y 89 mm, respectivamente. En esta región el vapor de agua originado en el Amazonas (Vuille et al., 1998; Chaffaut et al., 1998; Garreaud,

1999; Garreaud et al., 2003; Vizy & Cook, 2007) se realiza localmente sobre el Lago Titicaca (Roche 1990).

En el norte de la VP y en la VT la variabilidad interanual las lluvias y escurrimientos son influenciadas de manera diferente por El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Durante el Niño, lluvias y escurrimientos están sobre sus valores normales en la VP mientras se presentan sequías hidrológicas en la VT y sobre los Andes de la VA (Waylen & Caviedes, 1986; Aceituno, 1988; Ropelewski & Halpert, 1987; Tapley & Waylen, 1990 ; Tapley & Waylen, 1989; Tapley & Waylen, 1990 ; Rome-Gaspaldy & Ronchail, 1998; Vuille et al., 2000; Waylen & Poveda, 2002; Espinoza et al., 2009b ; Romero et al., 2007, entre otros). Además, la variabilidad interannual de lluvias en el sur de la VA es indirectamente relacionada con la temperatura superficial del mar del Atlántico norte (Lavado et al., Submitted) así como los caudales de la planicie amazónica cerca a Iquitos (estación Tamishiyacu) (Espinoza et al., 2009a).

Teniendo estos contextos hidroclimáticos, solo algunos trabajos describen la variabilidad hidroclimática utilizando series largas en Perú. Marengo (1995) y Marengo et al. (1998) encuentra tendencias decrecientes en caudales durante el siglo veinte en algunas estaciones localizadas en el norte de la VP. Ellos están relacionados con el manejo de zonas de irrigación y de uso poblacional en las grandes ciudades del norte (Trujillo, Chiclayo y Piura). La cuenca del río Santa está en proceso de retroceso glaciar (Kaser et al 2003, Mark & Seltzer, 2005; Pouyaud et al., 2005; Vuille et al., 2008a; Vuille et al., 2008b; entre otros) y su régimen hidrológico se ha hecho más regular (Kaser *et al.*, 2003). En el Altiplano, 13 años de clima es observado en muestras del glaciar Quelccaya (Melice & Roucou, 1998) y un reciente decrecimiento (desde finales de los ochenta) es detectado en los niveles del Lago Titicaca (Rigsby *et al.*, 2003). En la VA, Gentry & Lopez-

Parodi (1980) asocia tendencias de incrementos (decrecimientos) en máximos (mínimos) niveles de Agua en durante el período 1962-1978 con deforestación pero como no se observa un claro cambio en las lluvias durante el mismo periodo Nordin et al. (1982) y Richey et al. (1989) discuten estos resultados así como Rocha et al. (1989) quien encuentra tendencias positivas de lluvias en Iquitos y Pucallpa durante los periodos 1955-1979 y 1957-1981 respectivamente. Contrariamente y más reciente, Marengo (2004) para lluvias y Espinoza et al. (2006) para lluvias y caudales en la estación Tamishiyacu encuentran tendencias negativas y proponen una variación espacial de largo término en la Cuenca del Amazonas, especialmente entre el Sur y el Norte.

Desde el punto de vista científico, el Cambio Climático expresado en impactos actualmente percibidos por los seres vivos, crea la necesidad de buscar medidas y elaborar estrategias de adaptación y mitigación. Esta necesidad se consolida basada en dos aspectos importantes, el CONOCIMIENTO, que significa detectar, conocer los impactos en los diferentes sectores que estén relacionados a los cambios del clima, conociendo a esto como Investigación Aplicada; que nos llevara a definir medidas, estrategias dependiendo de la magnitud de los impactos, a corto, mediano y largo plazo. El otro aspecto importante es el ENTENDIMIENTO, que significa analizar y entender las relaciones, procesos, causas, efectos de los impactos; es decir Investigación Básica. Ambas Investigaciones, bajo el método científico, nos llevarán a tomar las decisiones adecuadas para la conservación, preservación en términos de tiempo de forma continua e inmediata, de los recursos naturales y vida humana, y a mediano y largo plazo, nos permitirán elaborar adecuadas estrategias de Adaptación y Mitigación. La relación y funcionalidad de este concepto se resume en la Figura 1.

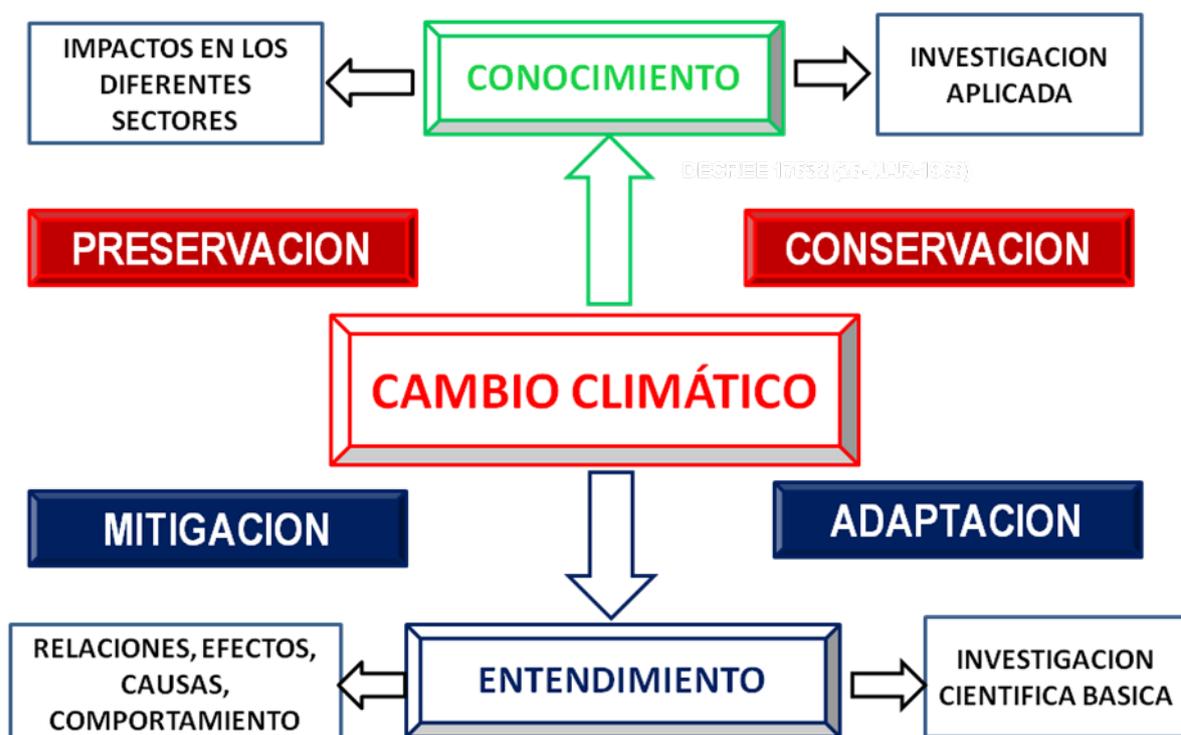


Fig. 1. Ciencia del Cambio Climático.

Por otro lado, el estudio del Cambio Climático se inicia cuando se encuentra la relación entre las Percepciones y la Data científica (Sociedad y Clima) en el tiempo presente, **CONDICIONES INICIALES**; basado en la teoría científica existente, en el uso de las herramientas tecnológicas actuales, en la definición de los requerimientos y necesidades actuales y en el planteamiento de metas y desafíos. Es a partir de este diagnóstico y con el uso de las herramientas y aplicación del conocimiento existente se puede proyectar esta relación hacia el **PASADO** con la finalidad, de entender los principales factores y tendencias predominantes que determinaron el comportamiento climático y sus relaciones en el pasado. Al mismo tiempo, este diagnóstico nos permitirá proyectarnos al **FUTURO**.

Esta proyección hacia el futuro, debe ser realizada a través de **MODELOS CONCEPTUALES** que involucren en su determinación variables que caracterizan el comportamiento humano; **SOCIAL**, analizar el proceso de evolución social, salud, trasportes, medios de vida, entre otros; **ECONOMICO**, considerar el proceso de evolución económica de la región;

POBLACION, considerar número de habitantes por edades, sexo, etc; **PRODUCCION**, considerar los niveles productivos de las actividades predominantes en la región; incluso las **COSTUMBRES**, las que de alguna forma se han visto afectadas a través del tiempo y **OTRAS** variables que tienen relación con el clima.

Aplicando el método científico a este proceso, en términos de entender el pasado como producto de la interrelación de las percepciones y data científica tendremos como resultado una representación media de cualquiera de las variables analizadas que pueden ser denominadas como **CLIMATOLOGIA**; y si nos proyectamos hacia el futuro y generamos los escenarios posibles a través de los modelos conceptuales, estaremos definiendo las estrategias adecuadas de **ADAPTACION**. En el proceso de identificar los impactos y correlaciones, bajo el método científico, se estaría definiendo de forma dinámica estrategias de **MITIGACION**. En la Figura 2, podemos observar el diagrama de flujo que representa la metodología del Cambio Climático.

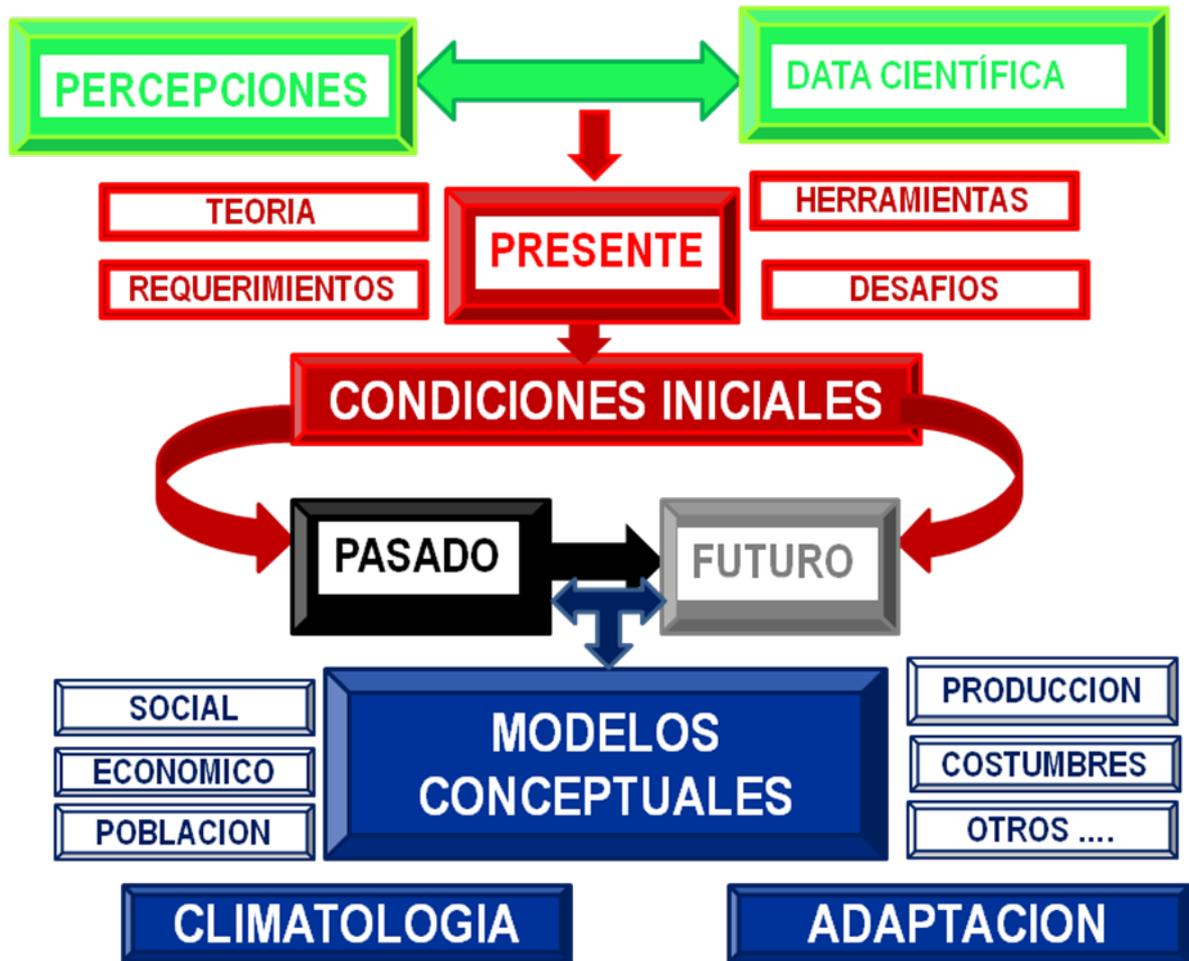


Fig. 2. Metodología del Cambio Climático.

BIBLIOGRAFIA

Aceituno, P. (1988). On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part 1 : surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116,: 505-524.

Chaffaut, I., Coudrian-Ribstein, A., Michelot, J.L. & Pouyaud, B. (1998). Précipitations d'altitude du Nord-Chili, origine des sources de vapeur et donnés isotopiques,. *Bull. Inst. Fr. Etudes Andines*, 27: 367-384.

Espinoza, J.C., Fraizy, P., Guyot, J.L., Ordoñez, J.J., Pombosa, R. & Ronchail, J. (2006). La variabilidad des débits du Rio Amazonas au Pérou. *Climate variability and Change – Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006)*, IAHS Publ. 308, 2006, 424-429.

Espinoza, J.C., Guyot, J.L., Ronchail, J., Cochonneau, G., Filizola, N., Fraizy, P., Labat, D., Noriega, L., Oliveira, E., Ordoñez, J.J. & Vauchel, P. (2009a). Contrasting regional discharge evolutions in the amazon basin (1974 – 2004). Accepted by *Journal of Hydrology*.

Espinoza, J.C., Ronchail, J., J.L.Guyot, Filizola, N., Noriega, L., Lavado, W., Pombosa, R. & Romero, R. (2009b). Spatio – Temporal rainfall variability in the Amazon Basin Countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). Accepted by *International Journal of Climatology*.

Garreaud, R., Vuille, M. & Clement, A.C. (2003). The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194: 5-22.

Garreaud, R.D. (1999). Multiscale Analysis of the Summertime Precipitation over the Central Andes. *Monthly Weather Review*, 127(5): 901-921.

Garreaud, R.D., Vuille, M., Compagnucci, R. & Marengo, J. (2008). Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, In Press, Corrected Proof.

Gentry, A.H. & Lopez-Parodi, J. (1980). Deforestation and Increased Flooding of the Upper Amazon. *Science*, 210(4476): 1354-1356.

- Georges, C. (2004).** The 20th century glacier fluctuations in the Cordillera Blanca (Perú). *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 36(1): 100-107.
- Kaser, G., Juen, I., Georges, C., Gomez, J. & Tamayo, W. (2003).** The impact of glaciers on the runoff and the reconstruction of mass balance history from hydrological data in the tropical Cordillera Blanca, Peru. *Journal of Hydrology*, 282(1-4): 130-144.
- Lavado, C.W.S., Labat, D., Guyot, J.L., Ronchail, J., Espinoza, J.C. & Ordoñez, J.J. (Submitted).** Recent trends in rainfall, temperature and evapotranspiration in the Peruvian Amazonas-Andes basin: Huallaga and Ucayali basins. *International Journal of Climatology*.
- Marengo, J.A. (1995).** Variations and change in south American streamflow. *Climatic Change*, 31(1): 99-117.
- Marengo, J.A. (2004).** Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 78(1): 79-96.
- Marengo, J.A., Tomasella, J. & Uvo, C.R. (1998).** Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. *Journal of Geophysical Research*, 103(D2): 1775-1784.
- Mark, B.G. & Seltzer, G.O. (2005).** Evaluation of recent glacier recession in the Cordillera Blanca, Peru (AD 1962-1999): spatial distribution of mass loss and climatic forcing. *Quaternary Science Reviews*, 24(20-21): 2265-2280.
- Melice, J. & Roucou, P. (1998).** Decadal time scale variability recorded in the Quelccaya summit ice core $\delta^{18}O$ isotopic ratio series and its relation with the sea surface temperature. *Climate Dynamics*, 14: 117-132.
- Nordin, C.F., Meade, R.H., Gentry, A.H. & Lopez-Parodi, J. (1982).** Deforestation and Increased Flooding of the Upper Amazon. *Science*, 215(4531): 426-427.
- Pouyaud, B., Zapata, M., Yerren, J., Gomez, J., Rosas, G., Suarez, W. & Ribstein, P. (2005).** On the future of the water resources from glacier melting in the Cordillera Blanca, Peru. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 50(6): 999-1022.
- Richey, J.E., Nobre, C. & Deser, C. (1989).** Amazon River Discharge and Climate Variability: 1903 to 1985. *Science*, 246(4926): 101-103.
- Rigsby, C.A., Baker, P.A. & Aldenderfer, M.S. (2003).** Fluvial history of the Rio Ilave valley, Peru, and its relationship to climate and human history. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 306(1): 1-21.
- Rocha, H.R.d., Nobre, C.A. & Barros, M.C. (1989).** Variabilidade natural de longo prazo no ciclo hidrológico da Amazonia. *Climanálise*, 4(12): 36-42.
- Rome-Gaspaldy, S. & Ronchail, J. (1998).** La pluviométrie au Pérou pendant les phases ENSO et LNSO. *Bulletin de l'Institut Française d'Etudes Andins.*, 27,: 675 – 685.
- Romero, C.C., Baigorria, G.A. & Stroosnijder, L. (2007).** Changes of erosive rainfall for El Nino and La Nina years in the northern Andean highlands of Peru. *Climatic Change*, 85: 343-356.
- Ropelewski, C.F. & Halpert, M.S. (1987).** Global and regional scale precipitations patterns associated with El Nino-Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115,: 1606-1626.
- Rutllant, J., Fuenzalida, H. & Aceituno, P. (2003).** Climate dynamics along the arid northern coast of Chile: the 1997-1998 Dinamica del clima de la Region de Antofagasta (DICLIMA) experiment. *J. Geophys. Res.*, 108(D17).
- Tapley, T.D. & Waylen, P.R. (1989).** A Mixture Model of annual precipitation in Peru. *The Professional Geographer*, 41(1): 62-71.
- Tapley, T.D.J. & Waylen, P.R. (1990).** Spatial variability of annual precipitation and ENSO events in western Peru. *Hydrological Sciences Journal*, 35, : 429-445.
- UNESCO (2006).** Balance hídrico superficial del Perú a nivel multianual. *Documentos Técnicos del PHI-LAC*, N°1.
- Vizy, E.K. & Cook, K.H. (2007).** Relationship between Amazon and high Andes rainfall. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 112(D7).
- Vuille, M., Bradley, R.S. & Keimig, F. (2000).** Interannual climate variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 105(D10): 12447-12460.
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B.G. & Bradley, R.S. (2008a).** Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*, 89(3-4): 79-96.
- Vuille, M., Hardy, D.R., Braun, C., Keimig, F. & Bradley, R.S. (1998).** Atmospheric circulation anomalies associated with 1996/1997 summer precipitation events on Sajama ice cap, Bolivia. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 103(D10): 11191-11204.
- Vuille, M., Kaser, G. & Juen, I. (2008b).** Glacier mass balance variability in the Cordillera Blanca, Peru and its relationship with

climate and the large-scale circulation. *Global and Planetary Change*, 62(1-2): 14-28.

Waylen, P. & Poveda, G. (2002). El Niño-Southern Oscillation and aspects of western South American hydro-climatology. *Hydrological Processes*, 16(6): 1247-1260.

Waylen, P.R. & Caviedes, C.N. (1986). El Niño and annual floods on the north Peruvian littoral. *Journal of Hydrology*, 89(1-2): 141-156.