

## COMUNICACIÓN BREVE

# Pasado, presente y futuro del clima en el Parque Nacional Chirripó, Costa Rica

Adolfo Quesada-Román<sup>1</sup> 

1- Universidad de Costa Rica, Escuela de Geografía, 2060, San José, Costa Rica; adolfo.quesadaroman@ucr.ac.cr

Recibido 14-X-2021 • Corregido 22-X-2021 • Aceptado 25-X-2021

DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v14iS1.3871>

**ABSTRACT.** “Past, present, and future of the climate in Chirripó National Park, Costa Rica”. **Introduction:** Chirripó National Park has been subject to climatic changes reflecting location, as well as geological, geomorphological, ecological and edaphic characteristics. **Objective:** To identify the factors that have modulated the climate in the high peaks of Costa Rica. **Methods:** A literature review in Google Scholar during September 2021. **Results:** The subject has been studied by geology, geomorphology, palynology and geography, reconstructing the climate during the Last Glacial Maximum, approximately 20,000 years ago at Chirripó National Park. We know the climatological conditions that have normally prevailed in the park during the last decades and how the El Niño-Southern Oscillation shapes the current climate. There are also models to project climate conditions throughout the 21st century in this protected area. **Conclusion:** There are enough studies to provide a basis for the park’s geo-conservation and to improve its management.

**Keywords:** Climate, Climate change, Geomorphology, Chirripó National Park, Talamanca Mountain Range.

**RESUMEN. Introducción:** El Parque Nacional Chirripó ha tenido cambios climáticos definidos por su ubicación y por características geológicas, geomorfológicas, ecológicas y edáficas. **Objetivo:** Identificar los factores que han modulado el clima en las altas cimas de Costa Rica. **Métodos:** Una revisión bibliográfica en Google Académico en setiembre de 2021. **Resultados:** El tema ha sido estudiado por la geología, geomorfología, palinología y geografía, reconstruyendo el clima durante el último Máximo Glaciar, aproximadamente hace unos 20.000 años en el Parque Nacional Chirripó. Conocemos las condiciones climatológicas que normalmente han predominado en el parque durante las últimas décadas y cómo El Niño-Oscilación del Sur modela el clima actual. También hay modelos para proyectar las condiciones climáticas durante todo el siglo XXI en esta área protegida. **Conclusión:** Hay suficientes estudios del clima del parque para promocionar su geoconservación y dar mejores guías para su manejo.

**Palabras clave:** Clima, Cambio Climático, Geomorfología, Parque Nacional Chirripó, Cordillera de Talamanca.

El paisaje del Parque Nacional Chirripó es el resultado de una compleja tectónica. Su arquitectura tiene una relación directa con los procesos de subducción entre las placas Cocos y el Caribe con implicaciones en el vulcanismo regional y la sismicidad (DeMets et al., 2010). En el sureste de Costa Rica, la colisión de la Cordillera Submarina de Cocos, la cual es una secuencia del crecimiento de la corteza oceánica del punto caliente de las Galápagos, detuvo el vulcanismo en la Cordillera de Talamanca hace alrededor de 2 Ma (Morell et al., 2012). La geología incluye rocas plutónicas, granodioritas y rocas volcánicas que han estado expuestas entre 12 y 7,8 Ma, así como andesitas y basaltos con edades comprendidas entre los 29 y los 7 Ma (Alfaro et al., 2018).

La geomorfología de este territorio se define por altas tasas de levantamiento que van desde 1,7 a 8,5m cada mil años (Gardner et al., 2013; Quesada-Román & Zamorano, 2019b), bajo la influencia de fallas con orientaciones noroeste-sureste y norte-sur (Alvarado et al., 2009; Camacho et al., 2020). Laderas volcánicas conformadas por la acción glacial o periglacial caracterizan el paisaje glacial relicto del Último Máximo Glaciar (UGM) -unos 20 mil años atrás- (Quesada-Román & Zamorano, 2019a). Los resultados son circos, aristas morrenas, depósitos y lagos glaciares bien conservados por encima de los 3 000 m.s.n.m. (Quesada-Román et al., 2019). Hoy, no hay glaciares en las cumbres del parque. Generalmente, el clima actual en el lugar está controlado por los vientos alisios del noreste, el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical, los frentes fríos y los ciclones tropicales (Esquivel-Hernández et al., 2019).

Diferentes tipos de bosques montañosos y turberas componen la vegetación de la Cordillera de Talamanca. En elevaciones superiores a los 3 000 m.s.n.m., prevalecen los paisajes de páramo de las tierras altas, un ecosistema herbario o dominado por arbustos típicos de las montañas altas frescas y húmedas de las montañas tropicales (Kappelle & Horn, 2016). A lo largo del páramo costarricense, cientos de humedales palustres y lacustres tienen una importante función regional hidrológica y ecológica (Esquivel-Hernández et al., 2018; Veas et al., 2018).

La metodología de esta investigación consta de una revisión bibliográfica exhaustiva en Google Académico durante setiembre de 2021 de artículos científicos y libros especializados nacionales e internacionales sobre el Parque Nacional Chirripó. El objetivo del artículo es explicar los cambios en el clima desde el UGM, el clima actual y las proyecciones de la variabilidad climática para las futuras décadas en el parque.

### **Clima del Último Máximo Glaciar y el Holoceno**

De acuerdo con estimaciones de las reconstrucciones glaciares del parque (Li et al., 2019; Orvis & Horn, 2000; Lachniet & Seltzer, 2002) se sugieren avances glaciares entre 3 500 y 3 550 m.s.n.m. y temperaturas promedio entre 6 y 10°C más frías durante el UGM que hoy (Islebe & Hooghiemstra, 1997; Quesada-Román et al., 2020c) y 2-3°C más frías que la actual durante el Dryas Reciente (Fig. 1; Islebe et al., 1995). Las secuencias de morrenas laterales y frontales usadas para estas reconstrucciones glaciares han sido fechadas recientemente usando exposición a rayos cósmicos de  $^{10}\text{Be}$  y  $^{36}\text{Cl}$ , confirmando una expansión máxima hace 21-18 ka de acuerdo con el UGM global (Cunningham et al., 2019; Potter et al., 2019). Por ende, los efectos del mismo dejaron relictos de geoformas glaciares erosivas y deposicionales en las cumbres del parque (Quesada-Román et al. 2019).

El decaimiento de la influencia local del UGM estuvo relacionado con la mezcla de una limitación hacia el Ecuador de la Zona de Convergencia Intertropical y menos incursiones de masas de aire polar (Lachniet & Seltzer, 2002). Por ende, entre hace 20 ka al terminar el UGM se da la transición al clima y vegetación actual (8 ka), aumentando las precipitaciones y las temperaturas (Islebe & Hooghiemstra, 1997). Al retroceder y desaparecer los glaciares, inician los procesos paraglaciales acrecentando la erosión dada la contribución sedimentológica de la dinámica



erosiva/acumulativa glaciario, y disparando a su vez movimientos en masa (Ballantyne, 2002). Estos procesos son evidentes en el modelado de las laderas que dan hacia el río General en la vertiente Pacífica, con un desarrollo importante de deslizamientos (Quesada-Román & Zamorano, 2018; 2019a), formación y evolución de abanicos aluviales coalescentes (Camacho et al., 2020), y amplias llanuras de inundación que son activadas durante periodos extraordinarios de precipitación asociados con ciclones tropicales (Quesada-Román, 2016; 2017; 2021; Quesada-Román et al., 2021).

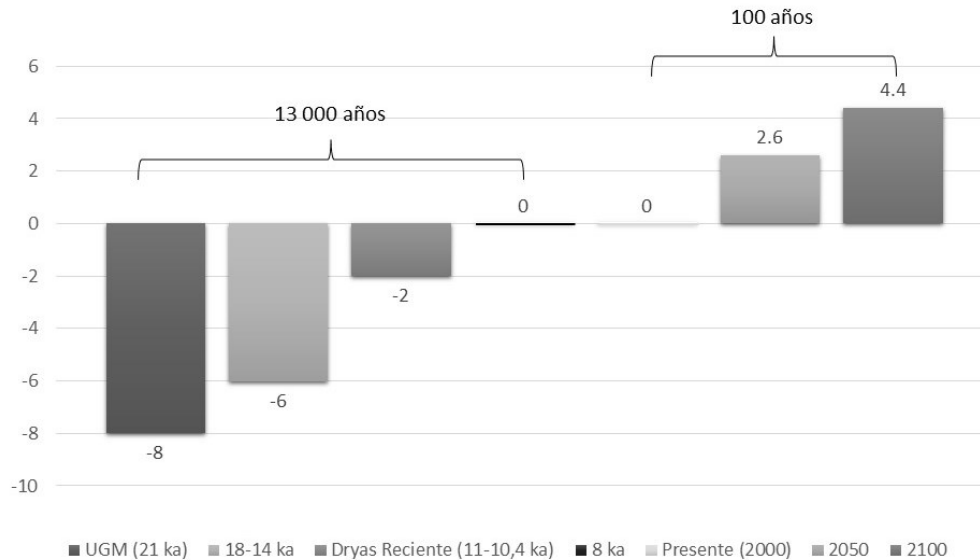
### **Clima de las últimas décadas y presente**

Las condiciones climáticas actuales están dominadas por los vientos alisios del noreste, la migración latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical, los frentes fríos y los ciclones tropicales (Alfaro et al., 2010; Campos-Durán & Quesada-Román, 2017; Esquivel-Hernández et al., 2019). Estos procesos de circulación atmosférica producen dos máximos de precipitación, uno en mayo y otro en octubre, que son interrumpidos por un mínimo relativo entre julio y agosto conocido como la Sequía de Medios de Verano (Corrales-Suastegui et al., 2020). Los registros históricos muestran que ~89% de la precipitación cae entre mayo y noviembre (temporada de lluvias). Como resultado, se establece una estación seca desde diciembre hasta abril con una temperatura media de 9,7°C (Quesada-Román, 2017).

Recientemente, Quesada-Román et al. (2020a) identificaron por medio de un análisis dendroecológico que el arbusto endémico *Hypericum irazuense* crece a mayores tasas durante años influidos por el fenómeno de la Niña (mayor precipitación), lo cual es consecuente con otros estudios en la región. Además, se ha determinado que el aporte efectivo de la humedad marítima del Mar Caribe es mayor (90%) que del Océano Pacífico (10%), debido a los vientos alisios del noreste que viajan sobre el centro y sureste Mar Caribe (Esquivel-Hernández et al., 2021).

### **Proyecciones climáticas durante el siglo XXI**

El estudio de Veas et al. (2018) modela los cambios futuros contrastados con la línea base (1979-1999) obteniendo que la temperatura incrementaría en 2,6°C para mediados del siglo XXI y 4,4°C para finales del siglo (Fig. 1). La precipitación sería similar para mediados de siglo mientras que disminuiría entre 3,7% y 5,5% a finales del siglo. Dada la intrincada topografía del Parque Nacional Chirripó, es común que haya diferencias entre las vertientes Caribe y Pacífica, lo cual es consistente desde el desarrollo de glaciares durante el UGM (Quesada-Román et al., 2021). Estos rápidos cambios en temperatura y precipitación durante el siglo XXI podrían asociarse con impactos ecológicos debido a que las especies no tendrían tiempo para adaptarse, además de menor capacidad de carga de los acuíferos y sistemas de abastecimiento de agua para la población (Veas et al., 2018). Las reconstrucciones del clima del pasado, presente y futuro son herramientas importantes para el geopatrimonio del parque nacional y el país a fin de promover la geoconservación y el geoturismo de las comunidades rurales circundantes generando mayor conocimiento de su entorno, así como mayores cadenas productivas (Quesada-Román & Pérez-Umaña, 2020a, b).



**Fig. 1.** Variaciones de temperatura en el Parque Nacional Chirripó desde el Último Máximo Glaciar y proyecciones hasta finales del siglo XXI.

## ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Declaro haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la preparación de este documento; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, estoy de acuerdo con la versión editada final de esta publicación. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista. La declaración de contribución del autor es la siguiente: A.Q.R.: Diseño del estudio, recolección y análisis de datos, recopilación de datos, preparación y aprobación final del manuscrito.

## REFERENCIAS

- Alfaro, A., Denyer, P., Alvarado, G.E., Gazel, E., & Chamorro, C. (2018). Estratigrafía y petrografía de las rocas ígneas en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 58, 7–36. <https://doi.org/10.15517/rgac.v58i0.32669>
- Alfaro, E., Quesada-Román, A., & Solano, F.J. (2010). Análisis del impacto en Costa Rica de los ciclones tropicales ocurridos en el Mar Caribe desde 1968 al 2007. *Revista Diálogos*, 11(2), 25-38. <https://doi.org/10.15517/dre.v11i2.578>
- Alvarado, G.E., Barquero, R., Taylor, W., Mora, M., Peraldo, G., Salazar, G., & Aguilar, T. (2009). Geología de la hoja San Isidro, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 40, 111–122. <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i40.4190>
- Ballantyne, C. (2002). Paraglacial geomorphology. *Quaternary Science Reviews*, 21(18-19), 1935-2017.
- Camacho, M.E., Quesada-Román, A., Mata, R., & Alvarado, A. (2020). Soil-geomorphology relationships of alluvial fans in Costa Rica. *Geoderma Regional*, 21, 1-12, e00258. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00258>
- Campos-Durán, D., & Quesada-Román, A. (2017). Impacto de los eventos hidrometeorológicos en Costa Rica, periodo 2000-2015. *Revista Geo UERJ*, 30, 440-465. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2017.26116>
- Corrales-Suastegui, A., Fuentes-Franco, R., & Pavia, E.G. (2020). The mid-summer drought over Mexico and Central America in the 21st century. *International Journal of Climatology*, 40(3), 1703-1715.

- Cunningham, M., Stark, C.P., Kaplan, M., & Schaefer, J. (2019). Glacial limitation of tropical mountain height. *Earth Surface Dynamics*, 7, 147–169. <https://doi.org/10.5194/esurf-7-147-2019>
- DeMets, C., Gordon, R.G., & Argus, D.F. (2010). Geologically current plate motions. *Geophysical Journal International*, 181(1), 1-80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04491.x>.
- Esquivel-Hernández, G., Sánchez-Murillo, R., Quesada-Román, A., Mosquera, G.M., Birkel, C., & Boll, J. (2018). Insight into the stable isotopic composition of glacial lakes in a tropical alpine ecosystem: Chirripó, Costa Rica. *Hydrological Processes*, 32(24), 3588-3603. <https://doi.org/10.1002/hyp.13286>
- Esquivel-Hernández, G., Mosquera, G.M., Sánchez-Murillo, R., Quesada-Román, A., Birkel, C., Crespo, P., Célleri, R., Windhorst, D., Breuer, L., & Boll, J. (2019). Moisture transport and seasonal variations in the stable isotopic composition of rainfall in Central American and Andean Páramo during El Niño conditions (2015-2016). *Hydrological Processes*, 33(13), 1802-1817. <https://doi.org/10.1002/hyp.13438>
- Esquivel-Hernández, G., Sánchez-Murillo, R., & Vargas-Salazar, E. (2021). Chirripó hydrological research site: Advancing stable isotope hydrology in the Central American Páramo. *Hydrological Processes*, 35(5), e14181. <https://doi.org/10.1002/hyp.14181>
- Gardner, T.W., Fisher, D.M., Morell, K.D., & Cupper, M.L. (2013). Upper-plate deformation in response to flat slab subduction inboard of the aseismic Cocos Ridge, Osa Peninsula, Costa Rica. *Lithosphere*, 5(3), 247–264. <https://doi.org/10.1130/L251.1>
- Islebe, G. A., Hooghiemstra, H., & Van der Borg, K. (1995). A cooling event during the Younger Dryas Chron in Costa Rica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 117(1-2), 73-80. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(95\)00124-5](https://doi.org/10.1016/0031-0182(95)00124-5)
- Islebe, G.A., & Hooghiemstra, H. (1997). Vegetation and climate history of montane Costa Rica since the last glacial. *Quaternary Science Reviews*, 16(6), 589-604. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(96\)00051-0](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(96)00051-0)
- Kappelle, M., & Horn, S.P. (2016). The Páramo Ecosystem of Costa Rica's Highlands. En: M. Kappelle (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 492-524). University of Chicago Press.
- Lachniet, M.S., & Seltzer, G.O., (2002). Late Quaternary glaciation of Costa Rica. *Bulletin of the Geological Society of America*, 114(5), 547–558. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(2002\)114<0547:LQGOCR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2002)114<0547:LQGOCR>2.0.CO;2)
- Li, Y., Tieche, T., Horn, S.P., Li, Y., Chen, R., & Orvis, K.H. (2019). Mapping glacial landforms on the Chirripó massif, Costa Rica, based on Google Earth, a digital elevation model, and field observations. *Revista Geológica de América Central*, 60, 109-121. <https://doi.org/10.15517/rgac.v2019i60.36465>
- Morell, K.D., Kirby, E., Fisher, D.M., & Soest, M. (2012). Geomorphic and exhumational response of the Central American Volcanic Arc to Cocos Ridge subduction. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117, 1-23. <https://doi.org/10.1029/2011JB008969>
- Orvis, K.H., & Horn, S.P. (2000). Quaternary Glaciers and Climate on Cerro Chirripó, Costa Rica. *Quaternary Research*, 54(1), 24–37. <https://doi.org/10.1006/qres.2000.2142>
- Potter, R.S., Li, Y., Horn, S.P., & Orvis, K.H. (2019). Cosmogenic <sup>36</sup>Cl surface exposure dating of late Quaternary glacial events in the Cordillera de Talamanca, Costa Rica. *Quaternary Research*, 92(1), 216-231. <https://doi.org/10.1017/qua.2018.133>
- Quesada-Román, A. (2016). *Peligros geomorfológicos: inundaciones y procesos de ladera en la cuenca alta del río General (Pérez Zeledón), Costa Rica*. [Tesis de Maestría en Geografía con énfasis en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2016/marzo/0742555/Index.html>
- Quesada-Román, A. (2017). Geomorfología Fluvial e Inundaciones en la Cuenca Alta del Río General, Costa Rica. *Anuário do Instituto de Geociências*, 40(2), 278-288. [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_2\\_278\\_288](http://dx.doi.org/10.11137/2017_2_278_288)



- Quesada-Román, A. & Zamorano-Orozco, J.J. (2018). Peligros Geomorfológicos en Costa Rica: Cuenca Alta del Río General. *Anuário do Instituto de Geociências*, 41(3), 239-251. [http://dx.doi.org/10.11137/2018\\_3\\_239\\_251](http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_239_251)
- Quesada-Román, A., & Zamorano-Orozco, J.J. (2019a). Geomorphology of the Upper General River Basin, Costa Rica. *Journal of Maps*, 15(2): 95-101. <https://doi.org/10.1080/17445647.2018.1548384>
- Quesada-Román, A., & Zamorano-Orozco, J.J. (2019b). Zonificación de procesos de ladera e inundaciones a partir de un análisis morfométrico en la cuenca alta del río General, Costa Rica. *Investigaciones Geográficas*, 99, e59843. <http://dx.doi.org/10.14350/rig.59843>
- Quesada-Román, A., Stoffel, M., Ballesteros-Cánovas, J.A. & Zamorano-Orozco, J.J. (2019). Glacial geomorphology of the Chirripó National Park, Costa Rica. *Journal of Maps*, 15(2), 538–545. <https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1625822>
- Quesada-Román, A., & Pérez-Umaña, D. (2020a). Tropical paleoglacial geoheritage inventory for geotourism management of Chirripó National Park, Costa Rica. *Geoheritage*, 12(58), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00485-0>
- Quesada-Román, A., & Pérez-Umaña, D. (2020b). State of the art of geodiversity, geoconservation, and geotourism in Costa Rica: *Geosciences*, 10(6), 211. <https://doi.org/10.3390/geosciences10060211>
- Quesada-Román, A., Ballesteros-Cánovas, J. A., Guillet, S., Madrigal-González, J., & Stoffel, M. (2020a). Neotropical *Hypericum irazuense* shrubs reveal recent ENSO variability in Costa Rican páramo. *Dendrochronologia*, 61, 125704. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125704>
- Quesada-Román, A., Ballesteros-Cánovas, J.A, Granados-Bolaños, S., Birkel, C., & Stoffel, M. (2020b), Dendrogeomorphic reconstruction of floods in a dynamic tropical river. *Geomorphology*, 359(15), 107133. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107133>
- Quesada-Román, A., Campos, N., Alcalá-Reygosa, J., & Granados-Bolaños, S. (2020c). Equilibrium-line altitude and temperature reconstructions during the Last Glacial Maximum in Chirripó National Park, Costa Rica. *Journal of South American Earth Sciences*, 100, 102576. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102576>
- Quesada-Román, A. (2021). Landslides and floods zonation using geomorphological analyses in a dynamic catchment of Costa Rica. *Revista Cartográfica*, 102, 125-138. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.901>
- Quesada-Román, A., Campos, N., & Granados-Bolaños, S. (2021). Tropical glacier reconstructions during the Last Glacial Maximum in Costa Rica. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 38(1), 55-64. <http://dx.doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2021.1.1600>
- Veas-Ayala, N., Quesada-Román, A., Hidalgo, H., & Alfaro, E. (2018). Humedales del Parque Nacional Chirripó, Costa Rica: características, relaciones geomorfológicas y escenarios de cambio climático. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1436-1448. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i4.31477>

