

# Ocurrencia de incendios forestales en el Perú durante eventos El Niño



**Ricardo Zubieta,  
Ph. D.**

INVESTIGADOR CIENTÍFICO  
DEL INSTITUTO GEOFÍSICO  
DEL PERÚ (IGP)

*Ph. D. en Recursos Hídricos y MSc. en Ingeniería de Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), es también ingeniero Geógrafo de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV). Actualmente es investigador científico de la Subdirección de ciencias de la Atmósfera e Hidrosfera del IGP. Es primer autor de diversos artículos indexados en revistas internacionales en temas asociados a impactos de eventos hidro-climáticos extremos en regiones Andino-Amazónicas. Recientemente, su investigación está enfocada en estudiar las condiciones favorables para la ocurrencia de incendios forestales en el Perú.*



**Ing. Fernando  
Prudencio**

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ  
(IGP)



**MSc. Glory Alarco**

DIRECCIÓN GENERAL DE  
ORDENAMIENTO TERRITORIAL  
AMBIENTAL DEL MINISTERIO DEL  
AMBIENTE (MINAM)



**Lic. Jorge Reupo**

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ  
(IGP)

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales (IFs) pueden ser considerados fenómenos naturales en muchos ecosistemas del mundo y sus causas detonantes son aspectos importantes para el manejo forestal. En regiones tropicales, los IFs se caracterizan por una variación enorme en sus contextos ambientales y sociales. El estudio de IFs sigue siendo un desafío para la ciencia y el manejo forestal, debido a la interacción entre factores naturales y antrópicos (Lippok et al., 2013). En los últimos años los IFs han impactado severamente varias regiones del Perú, como Cusco, Lambayeque, Piura y Cajamarca (INDECI, 2013; El Comercio, 2018). No obstante, el Perú no está en condiciones para afrontar este tipo de emergencias al no tener una unidad especializada de respuesta ante IFs (RPP, 2016).

El monitoreo de bosques a nivel nacional, a partir del uso de sensoramiento remoto -el cual permite documentar

la deforestación/cambio de uso de la tierra y catastro forestal por parte de GEO-BOSQUES, GEOSERVIDOR y GEO-SERFOR de los Ministerios del Ambiente (MINAM) y Agricultura respectivamente- contribuye a la gestión forestal de los gobiernos regionales y locales. El MINAM, en el marco de sus funciones, al evaluar y monitorear los ecosistemas y la biodiversidad en el territorio nacional, reporta por medio de mapas la existencia de condiciones favorables para la ocurrencia de IFs. Estos mapas tiene por objetivo realizar una labor de previsión que contribuya a la toma de decisiones (<http://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/cfoi/>).

La conformación de un sistema de alerta temprana ante IFs debe ser respaldada con estudios e investigaciones científicas en los contextos ambientales y sociales. De hecho, uno de los componentes más importantes del manejo de los IFs es la previsión de las condiciones de peligro ante su ocurrencia. Estos pueden ser originados por

actividades humanas o fenómenos meteorológicos como un rayo (Stocks et al., 1998). Por ello, la cuantificación de los efectos e interacción de factores naturales (clima, topografía, vegetación) y antrópicos (como el uso de la tierra y las condiciones de manejo o la quema de vegetación) debe ser establecida (Ying et al., 2018). Los factores climáticos están llamados a desempeñar un importante rol en la ocurrencia de IFs, pues periodos prolongados sin lluvia pueden causar déficit de humedad en el suelo, contribuyendo a la propagación de “quemadas” o incendios.

La costa del Pacífico es predominantemente seca y es influenciada principalmente por factores orográficos, oceánicos y atmosféricos (Garreaud et al., 2009). El régimen estacional de lluvias en los Andes del Perú se caracteriza por periodos diferenciados de lluvias y estiaje. No obstante, la Amazonía puede estar asociada a una débil estacionalidad (Espinoza et al., 2009). En la región centro y norte del Perú, las lluvias están estrechamente asociadas al incremento de la temperatura superficial del mar (TSM) del Pacífico oriental, mientras que en los Andes del Perú el incremento de la TSM en el Pacífico central contribuiría a una disminución en las lluvias (Lagos et al., 2008; Lavado and Espinoza, 2014).

Un periodo de estiaje prolongado o un retraso en el inicio de temporada de lluvias puede manifestarse como un episodio de sequía y así contribuir severamente a la propagación de quemadas o IFs. La ocurrencia de estos últimos en bosques amazónicos del Brasil ha sido asociado a sequías con incremento de la TSM del Pacífico ecuatorial como consecuencia de El Niño (Uvo et al., 1998; Marengo and Espinoza, 2015). Las sequías extremas de 2005 y 2010 fueron asociadas a una anomalía positiva de la TSM del Atlántico norte (Espinoza et al., 2011; Marengo et al., 2011). No obstante, en el Perú, la asociación entre la ocurrencia de incendios y la posible influencia del Fenómeno El Niño no ha sido analizada. De hecho, existe incertidumbre acerca de la distribución espacial y temporal de IFs.

El objetivo principal de este estudio es documentar los IFs y analizar la influencia de eventos El Niño, manifestados en cambios de la TSM. Este estudio permitiría generar nuevos conocimientos acerca de posibles impactos de El Niño y asociar patrones regionales a quemadas o incendios. Con esta evidencia científica se puede contribuir con el desarrollo de políticas sólidas de gestión y/o regulación para la quema de biomasa en regiones Andino-amazónicas a nivel nacional.

## DATOS Y METODOLOGÍA

Con el objetivo de monitorear los ecosistemas y la biodiversidad del territorio nacional, la Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental (DGOTA) del MINAM ha construido un registro histórico de IFs a nivel nacional, información que mejora el entendimiento de la dinámica espacial y temporal de los incendios. Este registro se actualiza diariamente y para ello sigue:

- 1) un protocolo establecido que se inicia con la ubicación y referencias zonales del evento, empleando información provista por el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación – SINPAD, del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

- 2) la recopilación de reportes periódicos e información proveniente de los Gobiernos Regionales.

La información es revisada a través de técnicas de sensoramiento remoto, analizando posibles caídas de la actividad fotosintética mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) e identificando la “cicatriz” del evento producido. Posteriormente se realiza una codificación y edición de la base de datos en sistemas de información geográfica. Para analizar la probabilidad de ocurrencia de IFs a lo largo del año, se realizó un análisis de frecuencia en función a las regiones costera, andina y amazónica, empleando datos entre 2000 y 2018 (<http://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/registros-historicos-cfoi/>; DGOTA, 2018). En este estudio la cota de 1500 msnm fue considerada divisoria de la región andina. Este rango es también considerado en otros estudios de la región (Zubieta et al., 2017; Zulkafli et al., 2014).

De forma adicional, se recopilamos datos de anomalías de temperatura superficial del mar (*Extended Reconstructed Sea Surface Temperature*) (ERSST v3b), provistos por la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), tales como el Índice Costero El Niño (ICEN), el *Oceanic Niño Index* (ONI) e índice del Atlántico norte (NATL). Takahashi et al. (2011) propuso una nueva interpretación para El Niño Canónico y El Niño del tipo Pacífico Central. Los índices E y C basados en esta propuesta fueron también considerados para este estudio.

## DISCUSIÓN Y RESULTADOS

La ocurrencia de IFs en los Andes nos sugieren un régimen estacional, los cuales se incrementan durante la parte final del periodo de estiaje e inicial de la temporada de lluvias para, finalmente, disminuir en el periodo de lluvias (Fig. 1a). En este estudio los periodos de estiaje, inicio de la temporada de lluvias y la temporada de lluvias se consideran en los periodos mayo-agosto, setiembre-noviembre y diciembre-abril, respectivamente. El análisis de frecuencia fue realizado para representar un año en condición normal o promedio (Fig. 1a) y extremo (años con datos completos y donde la ocurrencia se incrementó severamente tales como 2005, 2010 y 2016) (Fig. 1b).

El régimen mensual de IFs muestra una muy alta ocurrencia en el segundo semestre con máximas en agosto y noviembre (Fig. 1b). La distribución espacial de IFs en el Perú nos muestra una alta ocurrencia de estos eventos en regiones de alta montaña (entre 1500 y 4000 msnm) y predominantemente en la región andina oriental. En contraste, las regiones amazónica y costera presentan una baja y muy baja ocurrencia, respectivamente (Fig. 1c). Para una mejor aproximación, se ha realizado un análisis de frecuencia empleando el registro histórico para tres regiones: Andes occidentales, Andes orientales y amazónica (Fig. 2a).

El análisis cuantitativo de incendios en los Andes orientales nos indica un claro incremento en su ocurrencia durante el periodo de estiaje e inicio de la temporada de lluvias entre agosto y noviembre (Fig. 2b). Se observa que noviembre es el mes de mayor ocurrencia de IFs (Fig. 2b), esto refleja

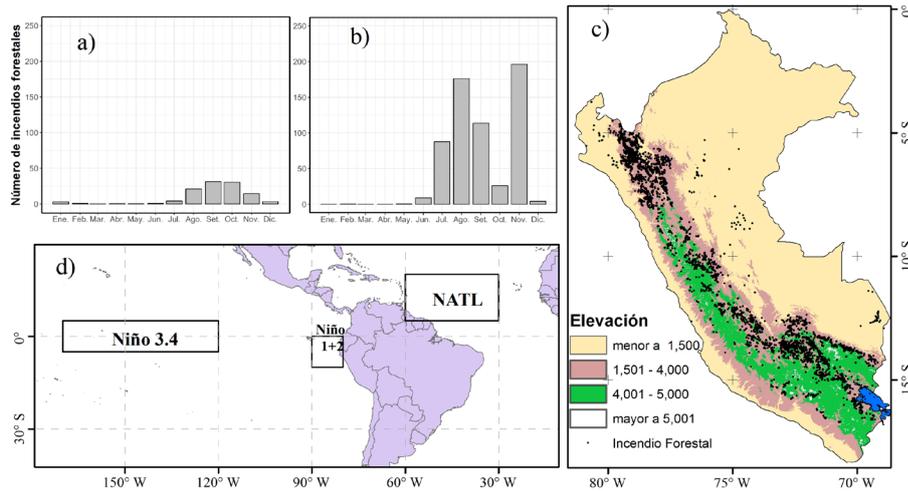


Figura 1. a) Promedio mensual de la ocurrencia de incendios forestales en un año normal, b) igual que (a) pero solo para los años 2005, 2010 y 2016 (años extremos), c) Modelo de elevación digital y distribución espacial de incendios forestales en el Perú, y d) Mapa que muestra, con cuadrados de color negro, las regiones Niño 3.4 y Niño 1+2 en el océano Pacífico, y el NATL en el océano Atlántico.

la influencia de los años en los que la ocurrencia de IFs se incrementó severamente (2005, 2010, 2016) (Fig. 1b). Este régimen es también observado en los Andes occidentales y la región amazónica (Fig. 2b). En general, esto nos sugiere que condiciones de déficit estacional de humedad en el suelo, que sucede al final del periodo de estiaje, desempeñan un importante rol en la ocurrencia de IFs en regiones andinas; unas ocurrencias que pueden alcanzar niveles muy altos durante el periodo de inicio de temporada de lluvias. Esto puede estar asociado a un retraso en el inicio de las lluvias en los Andes o periodos de sequía extrema en la Amazonía. A nivel nacional, las regiones del norte y sur que pueden presentar probablemente una mayor ocurrencia de incendios son Cajamarca, Cusco, Puno y Apurímac, seguido de Piura, La Libertad, Ayacucho y Huánuco (Fig 2c).

La Fig. 1d muestra las dos regiones que definen los principales índices de TSM que son utilizadas para monitorear El Niño y La Niña en el Pacífico. La región Niño 3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W), por medio del ONI, nos permite determinar, de manera independiente, si un evento El Niño/La Niña en el Pacífico Central se está desarrollando y, en consecuencia, podría haber un impacto en los Andes y Amazonía. Por otro lado, la región Niño 1+2 (90°-80°W; 10°S-0°), en la cual se basa el ICEN, nos indicaría el desarrollo de un evento El Niño/La Niña costero que, si se da en verano, podría contribuir a fuertes precipitaciones en la costa norte y centro del Perú. El mapa 1d también muestra la región del Atlántico norte (NATL) (5-20°N, 60-30°W), la cual se asocia a sequías en la Amazonía (Espinoza et al., 2011).

El escenario climático en el año 2005, frente a la costa del Perú, fue de un estado normal. Sin embargo en el Pacífico Central se observó la finalización de un evento "El Niño del Pacífico Central" en febrero, el cual se había iniciado en julio de 2004. Para el año 2010, frente a la costa del Perú, basado en el ICEN, se desarrolló un evento La Niña Costera de magnitud moderado entre agosto y noviembre, mientras que en el Pacífico Central se mantuvo un evento "El Niño del Pacífico Central", iniciado en julio de 2009, hasta marzo de 2010 para luego iniciar en junio de ese año un evento "La Niña del Pacífico Central" que se extendería por varios meses. Durante el 2016, el Pacífico tropical experimentaba un evento "El Niño Global" que concluiría en mayo-junio del mismo año, para pasar luego a un evento "La Niña del Pacífico Central" desde agosto hasta diciembre (esto está basado en el ICEN<sup>1</sup> y ONI<sup>2</sup>).

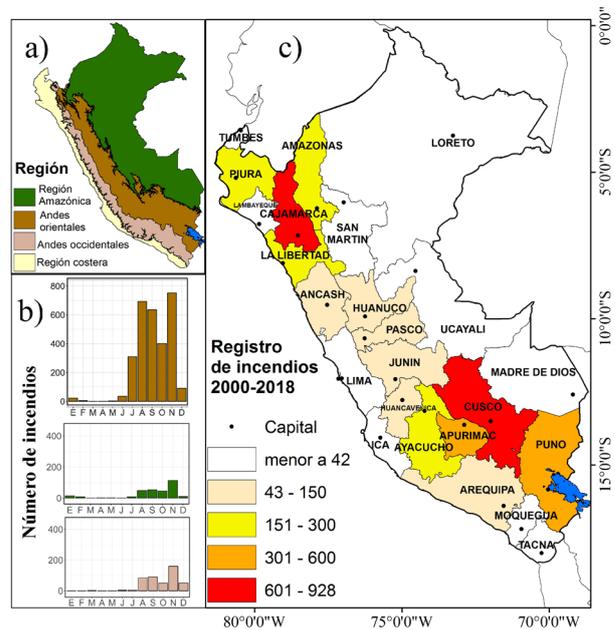
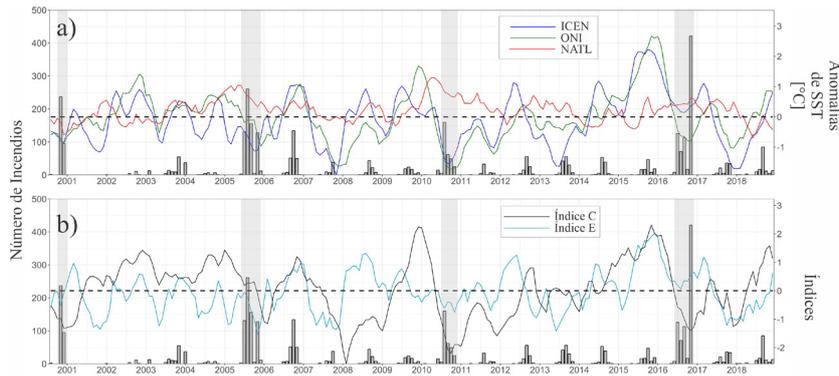


Figura 2. a) Mapa que muestra las regiones de análisis: costera (menor a 1500 msnm), Andes orientales (mayor a 1500 msnm) y región amazónica (menor a 1500 msnm), b) histogramas que muestran el número de incendios forestales durante el año para regiones señaladas en "a", y c) mapa regional (político administrativo) de ocurrencia de incendios forestales en el Perú.

Los índices Niño 1+2, Niño 3.4, NATL, E y C, así como la frecuencia mensual de IFs, son graficados en la Fig. 3a-b. Se aprecia que la ocurrencia de incendios se incrementó severamente entre agosto y noviembre en los años 2000, 2005, 2010 y 2016, no obstante, solamente los años 2005, 2010 y 2016 fueron analizados al presentar la mayor disponibilidad de datos de incendios. La relación entre un calentamiento o un enfriamiento de las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4 con el incremento en la ocurrencia de incendios entre 2000 y 2018 no es clara ( $r=0.2$ ,  $ns<0.01$ ) (Fig. 3). Sin embargo, los periodos entre agosto y noviembre de los años 2005 y 2010 sugieren un ligero enfriamiento ( $\sim 1^\circ\text{C}$ ) en las regiones Niño 1+2 y Niño 3.4, periodo en el cual el

<sup>1</sup> Lista de eventos El Niño y La Niña Costeros: [http://www.met.igp.gob.pe/elniño/lista\\_eventos.html](http://www.met.igp.gob.pe/elniño/lista_eventos.html)

<sup>2</sup> Episodios cálidos y fríos en el Pacífico Ecuatorial Central según el ONI: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)



**Figura 3.** Series de tiempo del número de incendios forestales (barras verticales grises) en a) índices ICEN (azul), ONI (verde), el NATL (rojo); en b) índices E (negro) y C (cian). Las franjas verticales (2001, 2005, 2010, 2016) de color gris indican el periodo de mayor ocurrencia de incendios forestales.

incremento de incendios fue severo. Esto difiere del año 2016, donde un ligero enfriamiento se presentó solo en el Pacífico central (región Niño 3.4).

La información también indica un aumento de la TSM en la región NATL entre enero y junio de 2005 y 2010, seguido por una reducción de la TSM en el segundo semestre (Fig. 3a). Los años 2005 y 2010 están asociados a sequías extremas en la Amazonía, caracterizadas por un incremento de la TSM en el Atlántico entre abril y agosto, con debilitamiento de vientos y, por tal, una reducción en el transporte de humedad hacia la cuenca Amazónica (Marengo et al., 2011; Espinoza et al., 2011). Nuestros hallazgos sugieren que la reducción de lluvias asociada a sequías de los años 2005 y 2010 en la cuenca amazónica, contribuyeron al incremento de la ocurrencia de IFs en los Andes. Asimismo, la alta ocurrencia de IFs en el segundo semestre de 2016, coincide con una paulatina reducción de la TSM en el Pacífico (regiones Niño 1+2 y Niño 3.4) desde su primer semestre, además de un ligero calentamiento de la región NATL (Fig. 3a).

El análisis entre la distinción de eventos El Niño del Pacífico oriental y central, mediante los índices E y C respectivamente -provistos por Takahashi et al. (2011)-, y el incremento de la ocurrencia de IFs, nos indica que los años 2005 y 2010 son precedidos por patrones de calentamiento (índice  $C \geq 1.0$ ) al iniciar el año y un paulatino enfriamiento del Pacífico central a lo largo del año. Este mismo comportamiento es también observado en el año 2016 (Fig. 3b). Lo que sugiere una posible relación entre la transición de El Niño a La Niña en el Pacífico central (es decir la tendencia negativa del índice C identificada entre enero-marzo, que se acentúa hasta junio, y que se prolonga hasta noviembre o diciembre) con el incremento severo de la frecuencia de IFs identificado entre julio-diciembre de 2005, 2010 y 2016, comportándose como un posible indicador asociado a periodos con alta frecuencia de incendios.

No obstante, este escenario difiere de lo ocurrido en 2007, donde la frecuencia de IFs fue relativamente normal. A diferencia de 2005, 2010 y 2016, en el año 2007 el proceso de transición de condiciones El Niño a condiciones La Niña en el Pacífico Central (región Niño 3.4), es acompañado de un proceso similar en el Pacífico oriental (región Niño 1+2) (Fig. 3b). Estas condiciones de La Niña costera podrían contribuir al incremento de lluvias por encima de lo normal en algunas regiones de los Andes entre octubre y diciembre, dada la correlación inversa identificada entre la anomalía de la TSM y las lluvias (Lagos et al, 2008). Este factor puede haber contribuido a la reducción de condiciones favorables para IFs y que la frecuencia de incendios fuese relativamente normal en 2007.

Información espacial y temporal acerca de la calidad, cantidad y desarrollo de la vegetación a partir de sensoramiento remoto en la región de los Andes y Amazonia puede contribuir a reducir la incertidumbre de los resultados. Además resulta relevante de estudiar variables climáticas y los procesos de circulación atmosférica en años de condiciones normales y extremas asociada a la ocurrencia de incendios.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La ocurrencia de incendios forestales podría ser asociada a un régimen estacional, con una mayor frecuencia de estos eventos finalizando el periodo de estiaje e inicio de la temporada de lluvias entre agosto y noviembre. Las regiones que presentan la mayor frecuencia de estos eventos son Cusco, Cajamarca, Puno y Apurímac. En general, esto sugiere que se debe establecer protocolos, en materia de prevención y disuasión, para actividades de quemas en regiones por encima de los 1500 msnm entre agosto y noviembre ante periodos de déficit de lluvias o prolongados periodos de sequía. En este contexto, la Autoridad Nacional del Agua y el Instituto Geofísico del Perú proveen los reportes mensuales "Eventos hidrológicos extremos en la Amazonía peruana: Sistema de alerta para la previsión", que permite prever los impactos de eventos extremos, como sequías e inundaciones, en la Amazonia peruana (<http://intranet.igp.gob.pe/eventos-extremos-amazonia-peruana/>).

Se ha identificado los años 2005, 2010 y 2016 en los que la frecuencia de incendios se incrementó severamente entre agosto y noviembre. El incremento de incendios ocurrido en 2005 y 2010 en los Andes peruanos es asociado a eventos de sequía extrema en la Amazonía (Espinoza et al., 2011). En general, el déficit de humedad alcanzado después del periodo de estiaje y durante el periodo de inicio de precipitaciones en los Andes, es un factor que contribuye a incrementar la ocurrencia estacional de incendios forestales.

Por otro lado, condiciones vinculadas a un proceso de transición de El Niño a La Niña, es decir, un aumento de la temperatura superficial del mar en el Pacífico central -que alcanzó niveles máximos a inicios de año en 2005, 2010 y 2016 y luego un enfriamiento que se acentúa durante el primer semestre y que se prolonga hasta el segundo semestre-, se comportan como posibles indicadores del incremento severo de la ocurrencia de incendios forestales entre julio y noviembre.

El incremento de la frecuencia de incendios forestales, debido a causas ambientales y sociales, e impactos en la

región de los Andes y Amazonía peruana, es un tema que requiere investigación científica. Investigaciones en temas sociales, climáticos y de sensoramiento remoto contribuirán a reducir la incertidumbre acerca de sus causas e impactos. Estas investigaciones pueden también contribuir en la conformación de un sistema regional de alerta ante incendios forestales, el cual es necesario para la gestión de los territorios que cuentan con ecosistemas frágiles.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio del Ambiente por proveer los datos de incendios forestales. También se agradece a Miriam Rodríguez y Witman García de la Dirección de Ordenamiento Territorial del Ministerio del Ambiente por su labor en el procesamiento de datos relacionados a incendios forestales.

(<http://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/registros-historicos-cfoi/>)

Los autores agradecen al Instituto Geofísico del Perú por la provisión de datos en línea del ICEN (<http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>), y de los índices C y E (<http://www.met.igp.gob.pe/datos/EC.txt>). Se agradece al Climate Prediction Center (CPC) de la NOAA por los datos de índices atmosféricos mensuales para la región del Atlántico Norte (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>) y el Oceanic Niño Index (ONI, <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt>). Comentarios de Kobi Mosquera, Omar Gutierrez y Juan Sulca son también valorados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DGOTA. 2018. Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental (DGOTA). Registro histórico de incendios sobre la cobertura vegetal a nivel nacional. Ministerio del Ambiente-Perú, <http://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/registros-historicos-cfoi/>

Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guyot, J.L., Cochemeau, G., Filizola, N., Lavado, W., de Oliveira, E., Pombosa, R., Vauchel, P. 2009. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon Basin Countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). *Int J Climatol* 29:1574–1594. doi:10.1002/joc.1791

Espinoza, J. C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Junquas, C., Vauchel, P., Lavado, W., Pombosa, R. 2011. Climate variability and extreme drought in the upper Solimões River (Western Amazon Basin): Understanding the exceptional 2010 drought. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 38, 1–6. <https://doi.org/10.1029/2011GL047862>

Garreaud, R.D., Vuille, M., Compagnucci, R., Marengo J. 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 281(3–4): 180–195.

El Comercio. 2018. <https://elcomercio.pe/peru/incendios-forestales-han-registrado-24-ultimos-tres-meses-noticia-458154> Visto ultima vez 12-jun-2018

INDECI. 2013. Anuario de Estadísticas Ambientales 2013. fenómenos naturales y emergencias, Instituto Nacional de Defensa Civil.

Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., Mosquera, K. 2008. El Niño, Climate Variability and Precipitation Extremes in Perú, *Adv. Geosciences*. 14, 231-237.

Lavado, W., Espinoza, J.C. 2014. Impact of El Niño and La Niña events on Rainfall in Peru. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, 171-182. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>

Lippok, D., Beck, S., Renison, D., Gallegos, S., Saavedra, F., Hensen, I., Schleuning, M. 2013. Forest recovery of areas deforested by fire increases with elevation in the tropical Andes. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.011>

Marengo, J.A., Tomasella, J., Alves, L.M., Soares, W., Rodriguez, D.A. 2011. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophys. Res. Lett.* 38: 1–5.

Marengo, J. A. and Espinoza, J. C. 2015. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.4420

RPP. 2016 <http://rpp.pe/blog/mongabay/infografia-cual-es-la-situacion-de-los-incendios-forestales-en-peru-noticia-1011966>. Visto ultima vez 12-06-2018.

Stocks, B.J., Fosberg, M.A., Lynham, T.J., Mearns, L., Wotton, B.M., Yang, Q., Jin, J.-Z., Lawrence, K., Hartley, G.R., Mason, J.A., Mckenney, D.W. 1998. Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forests. *Clim. Change* 38, 1–13. <https://doi.org/10.1023/A:1005306001055>

Takahashi, K., A. Montecinos, K. Goubanova., Dewitte, B. 2011. ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño, *Geophysical Research Letters*

Uvo, C., Repelli, C., Zebiak, S., Kushnir, Y. 1998. The relationship between tropical pacific and atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation, *J. Clim.*, 11, 551–562,

[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<0551:TRBTPA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<0551:TRBTPA>2.0.CO;2)

Ying, L., Han J., Du, Y., Shen, Z. 2018. "Forest fire characteristics in china: Spatial patterns and determinants with thresholds", *Forest Ecology and Management*, vol. 424, pp. 345-354. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.020>

Zubieta, R., Getirana, A., Espinoza, J. C., Lavado-Casimiro, W., and Aragon, L. 2017. Hydrological modeling of the Peruvian-Ecuadorian Amazon Basin using GPM-IMERG satellite-based precipitation dataset, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 3543-3555, [Doi.org/10.5194/hess-21-3543-2017](https://doi.org/10.5194/hess-21-3543-2017)

Zulkafli, Z., Buytaert, W., Onof, C., Manz, B., Tarnavsky, E., Lavado, W., & Guyot, J.L. 2014. A Comparative Performance Analysis of TRMM 3B42 (TMPA) Versions 6 and 7 for Hydrological Applications over Andean – Amazon River Basins. *Journal of Hydrometeorology*, 15(2), 581–592. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-094.1>