

El clima hacia 2030. La geomorfología como proxy en el cambio climático

Roque García Ruiz¹
roquegarcia1@gmail.com
Eduardo García Romero¹
agenciaambiental@gmail.com

¹UCAB. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, DF, Venezuela.

Historia del Artículo

Recibido 27 de Abril de 2018

Aceptado 29 de Julio de 2018

Disponible online: 30 de Julio de 2018

Resumen: En el último milenio, la variación de temperatura y las condiciones climáticas se encuentran reportadas por la humanidad en forma narrativa y escrita, verificada con resultados a través de investigaciones recientes mediante proxies en núcleos de hielo, anillos de árboles, acumulación de sedimentos, y depósitos carbonáticos, a lo cual hay que agregarle los proxies geomorfológicos en general no analizados ni reportados en su relación con condiciones climáticas. Las excavaciones arqueológicas evidencian las condiciones climáticas del evento, primero por el ocultamiento y segundo, por el contraste con el paisaje que controla actualmente el sector en el que debió existir la comunidad para su desarrollo. Los proxies geomorfológicos están relacionados principalmente con problemas de estabilidad en laderas que dejan formas topográficas en anfiteatros, así como gran volumen de materiales transportados aguas abajo producto de dicha inestabilidad y depositados por cambio de velocidad en el flujo, conformando superficie de relieve suave, las cuales han ocultado civilizaciones y han permitido el habitat a nuevas civilizaciones. Los problemas de estabilidad en las laderas están relacionados con lluvia, de cuya intensidad y duración dependerá la magnitud del cambio en el relieve. La variación de temperatura en el último milenio presenta un ciclo que puede ser asociado en tres periodos: entre los años 950 a 1150 AD, puede asignarse a un periodo de altas temperaturas (THP), seguido por una estabilización climática cálida, correspondiente al periodo cálido medieval (MCP) que se extiende hasta el año de 1450, donde comienza la pequeña edad de hielo (LEI) hasta el año de 1900. Tomando en cuenta el desarrollo a partir del siglo XII del imperio Inca, las áreas de cultivos en la isla de Pascua a partir del año 1220 y las construcciones de la Roma actual a partir del siglo XIII sobre edificaciones del Imperio Romano, se concluye que a los altos de temperatura en el periodo THP, le siguieron periodos de lluvias intensas, que originaron problemas de estabilidad, ocultando durante los siglos XI y XII, los moais en la isla de Pascua y las edificaciones del imperio romano, así como la conformación de anfiteatros topográficos en las laderas pendientes, donde fueron construidas en el imperio Inca amplias áreas de cultivos fundadas en muros de piedra en forma escalonada. Cuando tenemos altos de temperaturas (THP), la evaporación debe ser alta, con balance hídrico seco, pero su descenso debe de estar asociado con enfriamiento. Lo anterior posiblemente haya sido originado por lluvias cuyos valores de duración, frecuencia e intensidad, deben ser mayores que los conocidos actualmente, con balances hídricos húmedos, crecientes de altos caudales y grandes aportes de sedimentos, así como importante volumen de agua acumulada en el subsuelo. De acuerdo a investigaciones y reportes actuales, 2017, los dos grandes océanos, Pacífico y Atlántico, que ocupan el 48% de la superficie terrestre, presentarán variaciones importante en sus condiciones de temperatura, lo cual debe repercutir en el balance de masas de agua en el clima mundial, posiblemente frío más intenso hacia las áreas subpolar e intensificación de las lluvias hacia los trópicos.

Palabras Claves: Geomorfología, Anfiteatro Topográfico, Deslaves, Altas Temperaturas, Cálido Medieval, Pequeña Edad de Hielo, Lluvias Torrenciales.

The climate towards 2030. Geomorphology as proxy in climate change

Abstract: In the last millennium, the variation of temperature and climatic conditions are reported by mankind in narrative and written form, verified with results through recent investigations at proxies in ice cores, rings of trees, accumulation of sediments, and carbonaceous deposits, to which we must add geomorphological proxies in general not analyzed or reported in their relationship with climatic conditions. The archaeological excavations show the climatic conditions of the event, first by concealment and second, by the contrast with the landscape that currently controls the sector and the one that should have existed for the sustainable development of the community. The geomorphological proxies are mainly related to slope stability problems that leave topographic shapes in amphitheatres, as well as a large volume of materials transported downstream due to this instability and deposited by changing the velocity in the flow, forming a smooth relief surface, which they have hidden civilizations and allowed the habitat to new civilizations. The stability problems on the slopes are related to rain, whose intensity and duration will depend on the magnitude of the change in the relief. The variation of temperature in the last millennium presents a cycle that can be associated in three periods: between the years 950 to 1150 AD, it can be assigned to a period of high temperatures (THP), followed by a warm climatic stabilization, corresponding to the warm period medieval (MCP) that extends until the year 1450, where the small ice age (LEI) begins until the year 1900. Taking into account the development from the twelfth century of the Inca empire, some crop areas on Easter island developed circa 1200 and the buildings of the current Rome from the thirteenth century, it is concluded that the high temperature in the THP period, followed by periods of heavy rains, caused stability problems, hiding those structures during the eleventh and twelfth centuries. When we have high temperatures (THP), evaporation must be high, with dry water balance, but its descent must be associated with cooling, possibly originating from rains whose duration, frequency and intensity values must be greater than those currently known. , with humid water balances, increasing high flow rates and large sediment inputs, as well as an important volume of water accumulated in the subsoil. According to current research and reports, 2017, the two large oceans, Pacific and Atlantic, which occupy 48% of the earth's surface, will present important variations in their temperature conditions, which should affect the water mass balance in the world climate, possibly more intense cold towards the subpolar areas and intensification of the rains towards the tropics.

Keywords: Geomorphology, Topographic Amphitheater, Landslides, High Temperatures, Medieval Warmth, Small Ice Age, Torrential Rains.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un tema que en los últimos 40 años ha tenido gran importancia a nivel mundial expuesto por organismos y congresos internacionales, donde las condiciones climáticas actuales están caracterizadas por temperaturas altas, y cuyas condiciones se intensifican en el futuro en todos los programas de desarrollo sustentable, siendo el agua un recurso hídrico en disminución. Aunque es un tema que no se encuentra en general en la opinión pública, se analiza en el presente artículo, que en la próxima década disminuya la temperatura global y aumenten las lluvias con mayor intensidad y duración. Estos cambios climáticos han tenido ciclos similares en el pasado, contribuyendo a la desaparición de civilizaciones, así como la aparición de otras adaptada al nuevo medio.

La climatología, estudia los fenómenos del clima, estableciendo por zonas las variaciones climatológicas de acuerdo a las condiciones presentadas en un tiempo determinado. Lo anterior lo diferencia de la meteorología que estudia el tiempo atmosférico a corto plazo principalmente las condiciones de tiempo en horas, días o semanas. Ambas utilizan los mismos parámetros de mediciones, pero la climatología ha actuado en todo el proceso geológico de nuestro planeta Tierra, con cambios climáticos que han

moldeado la corteza terrestre, pudiendo medirse en milenios o millones de años.

La historia de los efectos del clima en un área se encuentra expuestos en el relieve, cuya conformación topográfica son los resultados de los eventos climáticos que han actuado en el pasado muy distinto a los del presente, constituyendo proxies climáticos que deben ser analizados en conjunto con variables como son la aparición y desaparición de civilizaciones.

Se entiende como proxy a toda evidencia física o indicador observable que pueda ser cronológicamente determinada o establecida.

El relieve montañoso que limita una ciudad, y la existencia de un clima árido sin efectos importantes sobre el relieve, sin fuentes de agua directa, donde se destaquen valles en forma de V, indican que en el pasado existía la presencia de escorrentía continua, con procesos de erosión, transporte y deposición de sedimentos. Posiblemente esté muy lejos de la imaginación humana, como se relaciona en tiempo dicho proceso para el relieve circundante, pero puede existir una relación en tiempo corto con el desarrollo de una civilización que debió contar con agua, y una abundante vegetación para las viviendas y energía.

En la historia climática de un área es importante entender el desarrollo sustentable de las civilizaciones que existieron. Si comparamos condiciones climáticas

actuales, suelos áridos y escasas lluvias, con los resultados de amplios desarrollos encontrados en excavaciones arqueológicas, la conclusión más inmediata es que el clima fue muy distinto. Este debió facilitar amplias áreas de cultivos y elementos de construcción y energía a base de bosques. Igualmente para el ocultamiento de dicha civilización, debieron existir condiciones climáticas de lluvias abundantes, que originaron problemas de estabilidad en las laderas de las cuencas, con abundantes aportes de sedimentos.



II. CONDICIONES AMBIENTALES 4000 AD, CARAL (SUR AMÉRICA)- EGIPTO (ÁFRICA DEL NORTE)

El nombre de Caral fue asignado a un antiguo asentamiento urbano, localizado en la parte nor-central de Perú, a unos 180 kilómetros al norte de Lima. Se encuentra al inicio del sector intermedio del valle de Supe, provincia de Barranca, destacándose en la actualidad un paisaje semiárido a árido, tal como se observa en la Figura 1, imagen de Google Earth, donde las laderas montañosas presentan fuertes procesos de erosión.

Figura 1: Imagen Google Earth del sector de Caral, Perú. Parte inferior detalle de edificación excavada

Shady. R y Leyva C, [1], en su libro LA CIUDAD SAGRADA DE CARAL-SUPE describe la ciudad Sagrada de Caral, como el asentamiento urbano más destacado por su extensión y complejidad arquitectónica de todos los identificados en el Nuevo Continente entre los 3000 y 2000 años A.C., formada unos 4000 años antes que gobernarán los Incas. Se considera la civilización más antigua de América, desarrollada casi simultáneamente con las de Egipto

Mesopotamia, Egipto, India y China. Los habitantes del Perú se adelantaron por lo menos, 1500 años a los de Mesoamérica, el otro foco civilizatorio de los seis reconocidos mundialmente, y en más de 2500 años a la sociedad que edificó las reconocidas ciudades mayas. *“El precoz desarrollo de la sociedad de Caral-Supe la convirtió en la civilización más antigua del Nuevo Mundo pero a diferencia de otros focos civilizatorios, como Mesopotamia, Egipto e India, que intercambiaron conocimientos y experiencias, logró un avance sin precedentes en completo aislamiento de sus coetáneas de América y del Viejo Mundo”*



Figura 2: Área noreste de África, desierto del Sahara, imagen de Google Earth. Parte inferior Pirámides de Egipto.

constituye una de las primeras y más deslumbrantes civilizaciones en la historia de la humanidad, comenzando su desarrollo hace unos 4000 años A.C., ocupando la desembocadura del río Nilo en forma de delta, donde el aporte por inundación de rica materia orgánica favorecía los desarrollos agrícolas. La ciudad se extendió aguas arriba, donde las planicies están controladas por formaciones rocosas que favoreció la construcción de las impresionantes pirámides que han perdurado por más de 4 milenios, constituyendo una de las maravillas de nuestro planeta. En la historia de Egipto se destaca como gobernantes los faraones, que fueron sustituidos por ocupaciones griegas y romanas.

Las imágenes de Google earth de ambos extremos del mundo muestran impresionante áreas sin vegetación, restringidas en la actualidad al valle de los ríos, lo cual constituye condiciones de limitación para cualquier civilización.

Para un desarrollo acorde de ambas civilizaciones, debemos imaginar un paisaje distinto, donde las laderas montañosas de Caral estén estabilizadas con una cubierta vegetal, al igual gran parte de lo que en la actualidad forma el amplio desierto de Sahara. El cual debió contar con áreas de vegetación hacia el actual y amplio desierto, facilitando la explotación de madera tanto para la construcción de viviendas como para su uso en energía.

III. LOS OCÉANOS ATLÁNTICO Y PACIFICO

El océano Pacífico ocupa el 32% de la superficie de nuestro planeta Tierra, donde “El Niño” y “La Niña” son parte del fenómeno conocido como ENSO, (EL NIÑO/OSCILACIÓN DEL SUR). Stephanie C., [2] lo describe como una fluctuación natural de las temperaturas superficiales del mar y la presión superficial del aire del Océano Pacífico Tropical entre el este y oeste. Durante un evento “El Niño,” los vientos alisios del este se debilitan, permitiendo que el

agua superficial más cálida del Océano Pacífico Tropical del oeste corra hacia el este. Durante el evento “La Niña,” estos vientos alisios se intensifican, causando que el agua cálida del este no pueda correr hacia el oeste y por consiguiente que el agua cálida superficial del este se acumule. “Grandes áreas de baja presión superficial del aire y precipitación convectiva siguen el agua cálida al migrar a través del Océano Pacífico Tropical, alterando los patrones de circulación atmosférica (por ejemplo, la Circulación Walker), que pueden influir el tiempo de todo el mundo”.

En los boletines mensuales del Centro de Predicciones Climáticas/NCEP/NWS y el Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad, indican en el informe 14 de diciembre de 2017, Figura 3, que La Niña se extiendela (excediendo ~80%) durante el invierno del Hemisferio Norte, con una transición a un ENSO-neutral, muy probablemente entre mediados y finales de la primavera 2018.

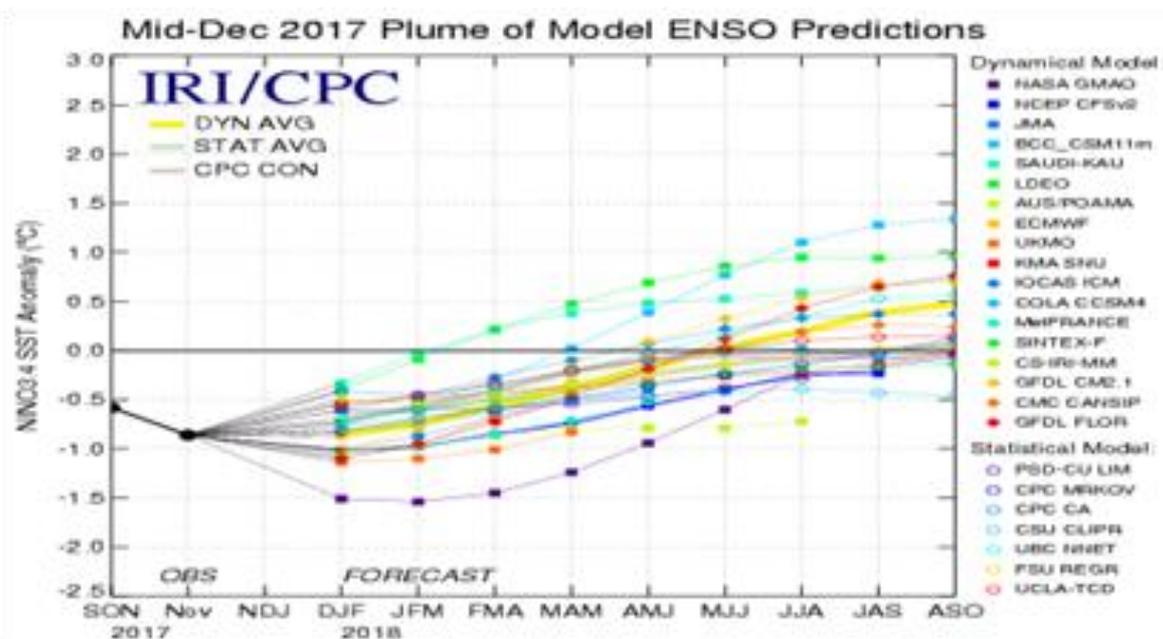


Figura 3: Boletín del 14/12/17. Centro de Predicciones Climáticas /NCEP /NWS. Variación de predicciones de distintos modelo ENSO.

EL Océano Atlántico, limitado entre el continente americano al oeste y Europa y África al este, ocupa el 16% de la superficie terrestre, donde mediciones recientes de temperatura de la superficie han mostrado una disminución marcada. Fraika E.-Williams et al. [4], indican que la superficie del mar en el giro subpolar es ahora tan fría como lo fue durante la última fase fría del índice de Oscilación Atlántica Multidecadal (AMO). En la década de 1990, se tiene temperaturas anormalmente frías en el giro subpolar, temperaturas cálidas en los subtrópicos y anomalías frías en los trópicos, formando un patrón tripolar con aumento de anomalías que ha cambiado el gradiente meridional subpolar a subtropical en TSM, que no están representados por el valor del índice AMO, pero que

puede conducir a un aumento de baroclinicidad atmosférica y tormentas. Fraika E.-Williams et al. demuestran que es probable que persista la reciente saturación del Atlántico, según lo predicho por un pronóstico estadístico de las temperaturas oceánicas sub-superficiales y consistente con la naturaleza irreversible de los cambios de masas de agua involucrada en el enfriamiento reciente del giro subpolar.

En la Figura 4, se compara del índice de temperatura global, tierra-océano, de GISS-NASA, en el periodo 1960 a 2015, con el gráfico de Fraika-Williams, observando a partir de la década de los 80 el aumento gradual de la temperatura, coincidiendo con un descenso en el calor superior del océano seguido por un ascenso que tiende a disminuir desde el 2015.

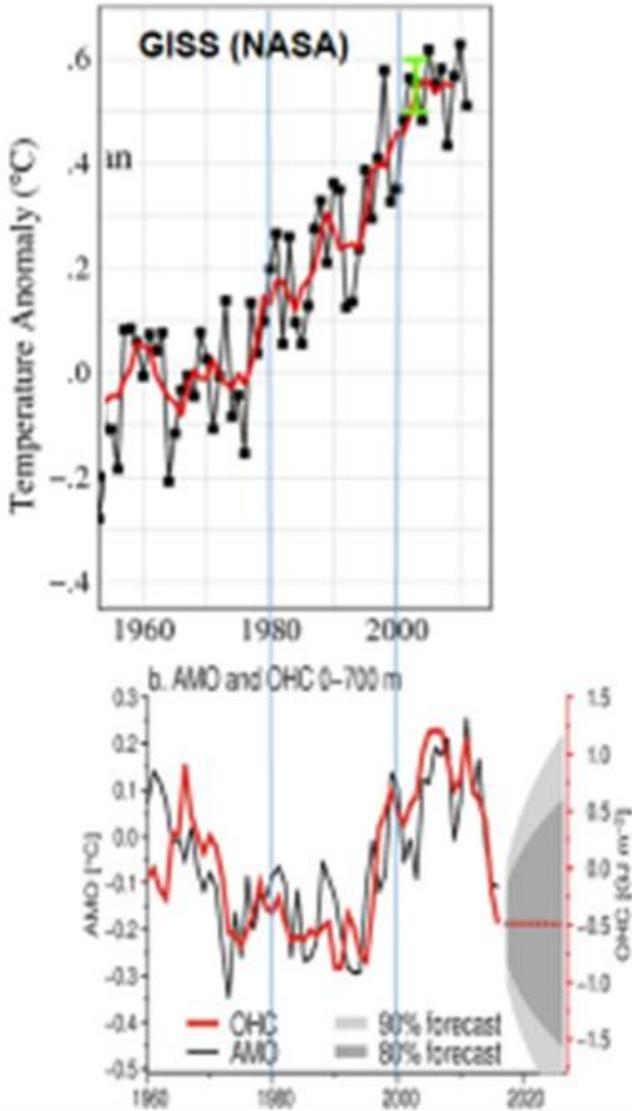


Figura 4: comparación índice de temperatura global, tierra-océano, de GISS-NASA, en el periodo 1960 a 2015, con el gráfico de Fraika E.-Williams et al. (2017)

De acuerdo a los resultados actuales, los dos grandes océanos que ocupan el 48% de la superficie terrestre, presentarán variaciones importantes en sus condiciones de temperatura, lo cual debe repercutir en el balance de masas de agua en el clima mundial, posiblemente frío más intenso hacia las áreas subpolar e intensificación de las lluvias hacia los trópicos.

IV. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LOS ÚLTIMOS 1000 AÑOS

Son numerosos las investigaciones sobre la variación de temperatura en los últimos 1000 años, siendo común la mención de dos (2) condiciones, Periodo Cálido Medieval (MCP) y la Pequeña Edad de Hielo (LIE), cuyo periodo de tiempo presenta variaciones importantes principalmente en MCP, el cual está planteado desde el siglo X hasta el siglo XV.

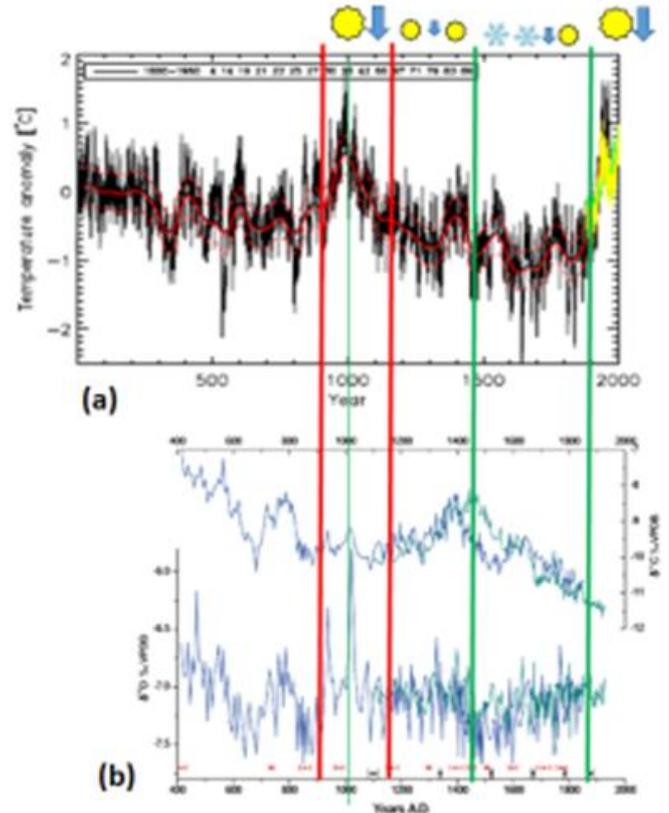


Figura 5: variación de la temperatura según B. Christiansen y L. Jungqvist (a) mediante núcleos de hielo en el hemisferio Norte y los resultados en un espeleotema en Perú, por J. Apaéstegui et al. (b)

En la investigación de J. Apaéstegui y otros [5], mediante registro $\delta^{18}O$ de un espeleotema de la cueva de Palestina, localizada al Este de la cordillera de los Andes al noroeste de Perú, en la cuenca alta del Amazonas, muestran resultados de una variación de doble pico de altos de temperatura en escalas de tiempo decenales, centradas entre 934 y 1039 AD, donde el periodo cálido medioeval lo limita entre 920 y 1100 AD. Los resultados los compara con los registros de distintos investigadores, observando similitud de resultados en la variación de temperatura.

Comparando los resultados de las investigaciones en núcleos de hielo según Christiansen y L. Jungqvist, [6] en Dinamarca, con los obtenidos en el espeleotoma de J. Apaéstegui et al. [5] Perú, Figura 5, se destaca un alto de temperatura en los alrededores del año 1000, desde donde ésta comienza a descender, estabilizándose en el año 1150. Después del segundo pico en el gráfico de J. Apaestegui, se destacan picos de menor altura, aumentando su frecuencia a partir del año 1150.

De ambos gráficos se puede diferenciar un periodo que combina altas temperatura con descensos, limitado en forma aproximada entre 950 y 1150 AD, asignándose en la presente investigación como

periodo de altas temperaturas (THP) seguido por una estabilización climática cálida, correspondiente al MCP que se extiende hasta 1450. Desde dicho año comienza la pequeña edad de hielo (LEI) hasta 1900.

Las altas temperaturas en el periodo THP, están asociadas con descensos indicativos de enfriamiento del planeta, R. García, E. García R. [7], posiblemente relacionadas con lluvias frecuentes y de larga duración cuyos efectos están evidenciados a la vista de las llamadas excavaciones arqueológicas y al origen y desarrollo de las civilizaciones al comienzo del último milenio.

Cualquier alto de temperatura debe de estar asociado a un proceso de evapotranspiración con deficiencia de agua, donde el hielo tiende a retirarse y las áreas deforestadas tienden a ampliarse. Dentro de la narrativa climática, un punto muy lejano de comparación, lo constituye la historia de Groenlandia [8], que debió estar favorecida por un alto de temperatura en el siglo XI, lo cual permitió poblar el área por los siglos venideros.

La investigación realizada por Calixto Ferreras Fernández [9] luego de recopilar información de distintos autores, concluye que a partir del siglo V comienza un período donde las temperaturas empiezan a descender notablemente, especialmente en los glaciares escandinavos y alpinos. Para el

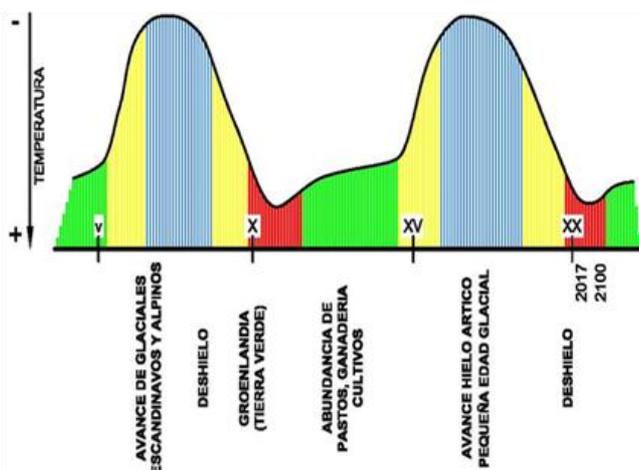


Figura 6: representación gráfica de las condiciones ambientales entre los siglos V al XX, de acuerdo a la descripción de Calixto Ferrera F.

comienzo del siglo VII, las temperaturas empiezan a aumentar progresivamente hasta el siglo X, donde se comienza a sentir una suavización climática.

A partir del año 1000, hay una masiva fusión de hielos en el Ártico y posiblemente en Groenlandia, que posteriormente tomaría el nombre de "Tierra Verde", que conserva con toda propiedad. En Europa, empieza una retracción glaciaria y al parecer los viñedos llegaron a estar 5 grados más al norte que como se encuentran en la actualidad. Las condiciones descritas por C. Ferrera F., se encuentran representadas en forma gráfica en la Figura 6.

En el periodo cálido medioeval (MCP), el clima anual en Europa, diferenciado por las cuatro (4) estaciones conocidas, verano, invierno, otoño y primavera, debió

contar con equilibrio en la evapotranspiración, manteniendo niveles altos en los acuíferos, que favoreció con desarrollo de bosques que facilitó la expansión de las civilizaciones contando con madera y agua para cultivos fácilmente controlada con obras de abastecimiento de agua superficiales. En América del Sur, zona tropical predominan dos (2) estaciones, verano e invierno, donde la acumulación de hielo por encima de los 4500 metros tiene relación con la estación de invierno. En el MCP, la estación de invierno debió caracterizarse por lluvia en general con balances hídricos húmedos que mantuvieron en época de verano caudales en quebradas y ríos, así como el nivel de agua subterránea alto.

Cuando tenemos altos de temperaturas (THP), la evaporación debe ser alta, con balance hídrico seco, pero su descenso debe de estar asociado con enfriamiento, relacionado con lluvias cuyos valores de duración, frecuencia e intensidad, deben ser mayores que los conocidos actualmente, con balances hídricos húmedos, crecientes de altos caudales y grandes aportes de sedimentos, así como importante volumen de agua acumulada en el subsuelo, lo cual cambian el relieve superficial constituyendo proxies de condiciones climáticas.

V. LA GEOMORFOLOGÍA COMO PROXY DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS

Los proxies climáticos conocidos están basados en mediciones directas sobre materiales de la naturaleza, como capas de acumulación de hielo, número y ancho de anillos de árboles, secuencias de deposición de sedimentos, acumulación de depósitos carbonáticos por agua subterránea, complementada en tiempo mediante datación de elementos como el C y relacionada con condiciones climáticas mediante variables como la relación O16/O18, así como el isótopo Be. Lo anterior permite ampliar las condiciones climáticas en el pasado y su relación con las mediciones de registros del clima que comenzaron desde finales del siglo XIX, modernizándose hasta nuestros días con el uso de satélites, permitiendo predicciones para el futuro en horas, días o meses.

Un proxy que está a la vista en las excavaciones arqueológicas son los grandes volúmenes de sedimentos que ocultan los monumentos de civilizaciones antiguas, para lo cual se debieron movilizar en condiciones climáticas particulares de lluvias prolongadas asociados a altos caudales de agua. Los sedimentos provienen de las laderas limitadas por el área de cuenca, asociados a problemas de estabilidad, denominados deslaves o deslizamientos; los primeros superficiales caracterizados por cicatrices en las laderas que abarcan la capa vegetal y la parte de la roca más alterada. Los deslizamientos que se forman como continuación de los deslaves, poseen mayor profundidad en la ladera, abarcando la roca meteorizada, dejando una forma de cicatriz en anfiteatro, cuya amplitud dependerá de la pérdida de resistencia de las rocas debido al efecto de saturación.

Los materiales movilizados ladera abajo, a lo largo de quebradas de valles pendientes, están constituido por

mezclas de tierra y agua, que se desplazan a gran velocidad, con gran poder erosivo sobre el cauce y laderas laterales, aportando mayor volumen de materiales sólidos. El aporte de grandes volúmenes de sedimentos por quebradas que desembocan en cauces de ríos de valles entre montañas, represan las aguas, con la formación de lagos y laguna, donde la estabilización de las condiciones climáticas, originan acumulación de sedimentos particular tipo lacustre. Cuando los sedimentos desembocan en planicies al pie de montañas, forman amplios conos coluviales, los cuales constituyen superficies de relieve suave fácilmente aprovechadas para cultivos y urbanismos.

En general los proxies geomorfológicos, marcan el ocultamiento de antiguas civilizaciones y el resurgimiento de nuevas civilizaciones, tal como se evidencian en el artículo de R. García y E. García R. [7], de donde se destacan tres (3) ejemplos:

Ocultamiento del foro Romano, en Roma (Italia), donde la conformación del terreno a un nivel superior dio origen a partir del siglo XIII, a las actuales edificaciones que circundan el área turística excavada del foro, de donde fueron obtenido gran volumen de piedra ornamental para la construcción de iglesias católicas. En la Figura 7, se destaca el foro romano que se encuentra a unos 10 metros por debajo de la iglesia Santi Lucas y Martina (1256).



Figura 7: desnivel existente entre el acceso a la iglesia Santi Luca e Martina y arco romano de Séptimo Severo. Foro Romano, Roma, Italia

Si analizamos las laderas entre Pisac y Ollantaytambo, en el área del Cuzco (Perú) observamos el desarrollo del Imperio Inca con amplias áreas de cultivos mediante la construcción de muros o andenes, venciendo centenas de metros en las laderas pendientes, en general asociado a las formas topográficas de anfiteatros. Dichos andenes forman actualmente parte de los aspectos turístico, contractando con el amplio valle de cultivos del río Urubamba. En la Figura 8, se muestra un sector entre Pisac y Ollantaytambo, al Este de la ciudad del Cuzco, Perú, destacando en el relieve una forma de anfiteatro topográfico, donde los muros siguen curvas de nivel de forma cóncava.



Figura 8: sobre una imagen de Google Earth entre Pisac y Ollantaytambo, Cuzco. Perú, se delimita un relieve típico de anfiteatro topográfico

En la isla de Pascua se indica una segunda llegada de los polinesios al comienzo del siglo XIII, donde las investigaciones de Stevenson, C. y otros, [10] datan las áreas de cultivos a partir del año de 1220, en general basada en muestras superficiales de suelo a profundidades no mayores de 1 metro. En contraste se tiene los Moais, véase Figura 9, cuyos cuerpos se encuentran enterrados con más 7 metros de sedimento, que su origen debe de estar relacionado con gran aporte de sedimentos transportados por el agua, producto de deslaves a cota superiores, lo cual debió de borrar de la isla la mayor parte de vestigios de civilizaciones anteriores.

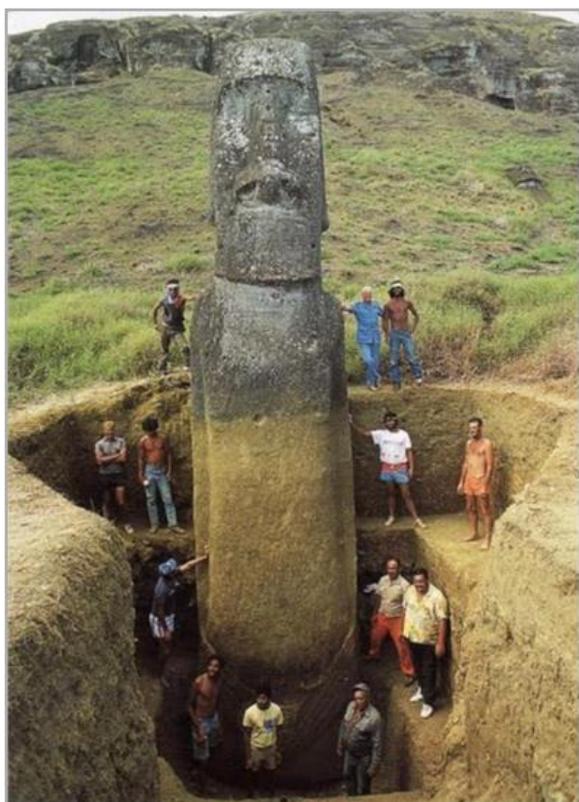


Figura 9: Cuerpo de moais por debajo de la superficie del terreno. Imagen Google, Isla de Pascua

VI. PROXIES GEOMORFOLÓGICOS Y EL CLIMA DESDE EL SIGLO X AL SIGLO XXI

La conformación topográfica actual del relieve mundial, constituye el resultado de una historia geológica de millones de años, con la aparición y desaparición de continentes, pudiendo diferenciar evidencias geomorfológicas recientes en el último milenio generalmente asociados al desarrollo de las civilizaciones. Hace mil años atrás la población del planeta no superaba el 3% de la actual, con grandes extensiones de terreno, donde los efectos del clima debieron ser considerados naturales y los cuales rápidamente eran olvidados en la historia.

Un efecto de lluvias torrenciales asociados a problemas de estabilidad en las laderas, deslaves y deslizamientos, queda representado en el futuro por formas topográficas en anfiteatros, así como el transporte y deposición del material arrastrado ladera abajo, el cual es depositado modificando las cotas originales del terreno, ya sea en forma de niveles

aluviales a mayor cota o amplios conos coluviales, actualmente poblados, constituyendo proxies, los cuales deben ser datados.

Un ejemplo reciente en América del Sur, Venezuela, lo constituye el llamado Deslave de Vargas (1999), donde localmente el evento ocultó parte del área poblada, modificando las cotas del terreno y avanzando la línea de costa más de 300 metros hacia el mar. El evento ocurre en el llamado periodo Calentamiento Global, donde la temperatura del planeta se encuentra en ascenso, con eventos similares en Asia por los llamados Monzones y recientemente lluvias torrenciales en Europa, París y Alemania en Enero del 2016. Los eventos de lluvias torrenciales están asociados al clima conocido, pero su frecuencia y magnitud pueden estar aumentando con el ascenso de la temperatura, con balances hídricos actuales de poca o sin excedente de recarga de acuíferos.

Los proxies geomorfológicos que ocultaron gran parte de edificaciones del imperio romano, requiere ser datados, cuya fecha debe ubicar al evento antes del desarrollo de la Roma medieval, donde como fundaciones de importantes edificaciones fueron utilizadas las estructuras ocultas de edificaciones romanas, cuyo mayor desarrollo ocurre con la construcción de importante número de iglesias católicas, comienzo del siglo XIII. El imperio Romano desaparece en el siglo VII, los eventos de su ocultamiento debieron ocurrir posterior a dicho siglo y relacionados con eventos de lluvias torrenciales de gran magnitud, pudiendo asociarse con el alto de temperatura identificado en el año 1000 y sus efectos posteriores.

La historia del imperio Inca comienza en el siglo XIII con su primer gobernador Manco Capac. Si relacionamos los desarrollos agrícolas de los Incas que ocuparon amplios anfiteatros productos de inestabilidad, estos debieron ocurrir en años anteriores asociados a lluvias continuas y torrenciales, pudiendo ubicarse entre los siglos XI y XII.

De la historia climática del último milenio, está identificados claramente el Periodo Cálido Medioeval (MCP) y Pequeña Edad de Hielo (LEI), existiendo entre ambos una transición en el siglo XV. J. Apaestegui y otros, limitan al Periodo Cálido Medieval, a los altos de temperatura entre los años 920 y 1100 AD, con un espacio de unos 3 siglos ante la pequeña edad de hielo.

Entre los siglos XIII y XVI, Europa se expandió en el llamado renacimiento, donde los efectos climáticos debieron presentarse con poca variación, permitiendo el desarrollo de civilizaciones. Bajo el dominio del cristianismo, la Europa medieval experimentó un cambio radical en la tasa de inventos, innovaciones en las maneras de administrar las medidas tradicionales de producción, y el crecimiento económico.

El período experimentó avances tecnológicos importantes, incluyendo la invención de la pólvora, molinos de viento horizontales, gafas, relojes mecánicos y molinos de agua, técnicas de construcción (estilo gótico, castillos medievales), y mejoras en la agricultura (rotación de cultivos).

También se realizaron importantes avances en la tecnología marítima, como en la construcción de barcos con múltiples mástiles con velas latinas, el timón montado al codaste y la construcción del casco comenzando por el armazón. Así como también nuevas técnicas náuticas como la brújula seca, la vara de Jacob y el astrolabio. Prieto, Fortes., Cabrera, Fortes, & Gonzales, [11].

Tal como se indicó en el punto 4), se plantea que el Periodo Cálido Medieval (MCP), se localice entre los años 1200 y 1500, como un periodo con estaciones climatológica dentro de rangos de temperatura sin extremos, que permitió la planificación y el desarrollo tanto del continente Europeo como la evolución de los Imperios Inca, Maya y Azteca. Después del siglo XVI hasta el siglo XIX, las temperaturas en el planeta se coloca por debajo de la media, con inviernos intensos, donde los glaciares de montaña alcanzan su máximo avance Actualmente el planeta se encuentra en un periodo de calentamiento global con retroceso acentuado de los glaciares desde 1980. Antes y después del año 1000 están reportados altos de temperaturas, las cuales cerrarían el ciclo con el año 2000.

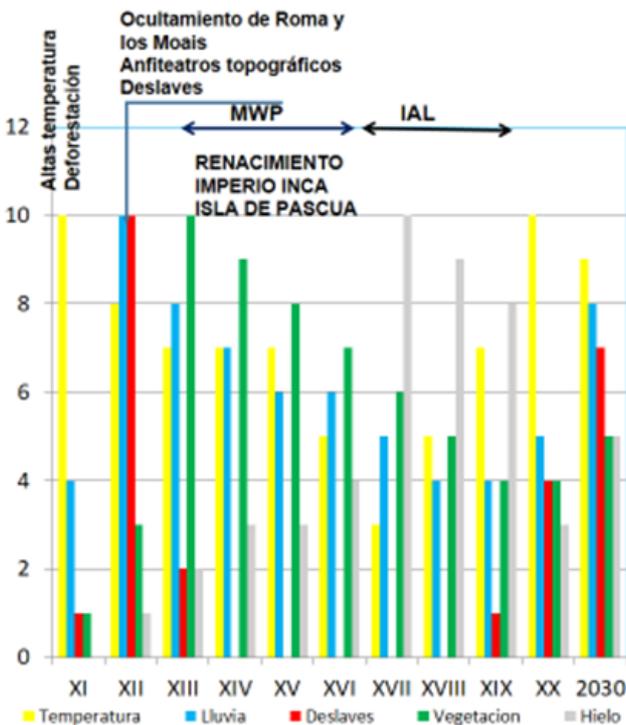


Figura 10: representación gráfica de efectos ambientales del último milenio: Temperatura, Lluvia, Deslaves, Vegetación y Hielo

En base a la información descrita, en la Figura 10, se representan la variación del clima en el último milenio, destacándose altos de temperatura en los años 1000 y 2000, intensidad de las lluvias relacionadas con efectos de deslizamientos, así como avance y retroceso del hielo. Los proxies de ocultamiento de monumentos del imperio Romano en Europa y de los Moais en la isla de Pascua, así como los anfiteatros donde se desarrollaron las áreas de cultivo del Imperio Inca,

están relacionados con fenómenos climatológicos de lluvias torrenciales y continuas, con efectos de saturación, causando inestabilidad en las cuencas, con grandes aporte de sedimentos que modificaron localmente la superficie actualmente desarrolladas. El alto de temperatura en el año 1000, asociado a su descenso, se relaciona con un enfriamiento debido a lluvias continuas y torrenciales de mayor duración, con recargar totalmente de acuíferos y mesas de agua subterráneas cercanas a la superficie del terreno. Las nuevas planicies coluviales producto de deslaves, ricas en nutrientes transportados por la inestabilidad en las laderas de la cuenca, desarrollan amplias áreas arborizadas, las cuales constituyeron las áreas de expansión para cultivos y el abastecimiento de materiales de construcción y energía.

Entre los siglos XIII y XVI, los balances hídricos debieron ser húmedos, manteniendo en verano, caudales de ríos y quebradas, donde el recurso de

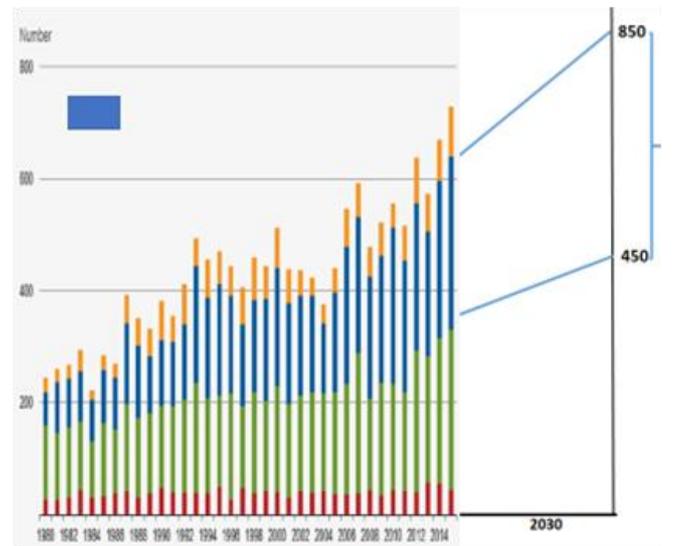


Figura 11: Estudio de Münchener Rück AG, 1980 a 2015. Eventos de tipo hidrológicos (lluvias y movimiento de masa) con no menos de una pérdida de vida

explotación del agua fue menor al aporte de la naturaleza. A partir del siglo XVI, comienzo de la Pequeña Edad de Hielo, el balance hídrico fue afectado por un menor volumen de lluvia, pudiendo considerarse que algunas áreas pobladas el recurso de explotación del agua fueron mayor al aporte de la naturaleza, ocasionando descensos y desaparición de lagos, como el caso de México y el lago Texcoco.

En el actual periodo de calentamiento global, la evaporación constituye un factor importante en el balance hídrico sumado a lluvias no continuas, cuyo efecto torrencial está siendo más intenso, tal como lo evalúa Münchener Rück AG, [12] empresa reaseguradora alemana con sede en Múnich (Munich RE), en sus análisis entre 1980 a 2015, los eventos de tipo hidrológicos (lluvias y movimiento de masa) con no menos de una pérdida de vida, los cuales van de unos

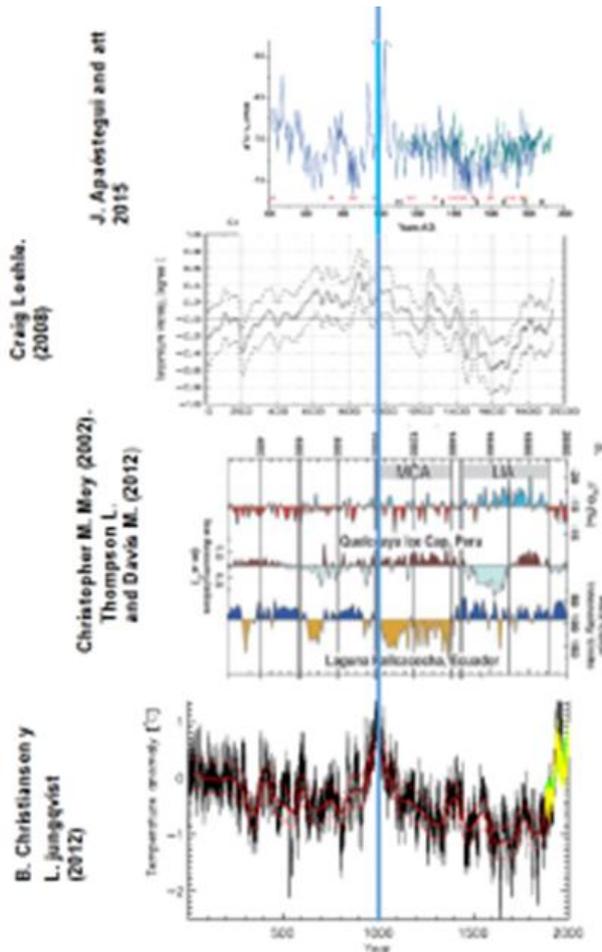


Figura 12: resultados de distintas investigaciones donde se encuentra señalado en año 1000

50 eventos para el 2008 a unos 200 en el 2015. Se puede extrapolar su duplicidad para el 2030. Véase Figura 11.

VII. EFECTOS ANTROPOGÉNICO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

La mayoría de los investigadores relacionan el actual calentamiento global a los efectos de las actividad humana, principalmente con la llamada era industrial, desde finales del siglo XIX hasta el presente siglo XXI. En el pasado, el único efecto antropogénico que podría estar relacionado con el cambio climático sería las deforestaciones requeridas desde el inicio de las primeras civilizaciones, donde la madera fue utilizada como elemento de construcción y como energía. En la Figura 12, se comparan los resultados de distintas investigaciones del clima en los últimos 1000 años destacándose:

Thompson L. and Davis M. [13], basada en perforaciones para obtener núcleos de hielo en el glaciar tropical de Quelccaya, ubicado en el altiplano sur de Perú. Christopher M. Moy [14] cuya investigación se basó en núcleos de sedimentos recuperados en la Laguna Pallcacocha en la parte sur de los Andes ecuatorianos. B. Christiansen y L. Jungqvist [6], en su investigación se utilizó métodos de reconstrucción de conjuntos de pseudo-proxy, basados en modelos de regresión lineal. Craig Loehle [15] [16]

se utilizaron únicamente los proxies que tenían al menos 20 fechas sobre los 2000 años en estudio. J. Apaestegui y otros [5] en la investigación sobre la Variabilidad hidroclimática, mediante registro δ 18O de un espeleotema relaciona el Sistema de Monzón de América del Sur durante los últimos 1600 años.

En la Figura 13, Richard Alley [17] en su libro “The two-mile time machine: Ice cores, abrupt climate change, and our future” (La máquina del tiempo de dos millas de núcleos de hielo, cambio climático abrupto, y nuestro futuro), analiza mediante la utilización de proxies en núcleos de hielo extraídos de Groenlandia, la historia climática de los últimos 11.000 años en la tierra. En su obra se analizan los cambios bruscos en el clima y el futuro de la temperatura en el planeta Tierra. En dicha lamina también se comparan los resultados de R. Alley con las investigaciones de Michael Mann, Raymond Bradley y Malcom Hughes [18] basaron en el análisis de proxies de anillos de

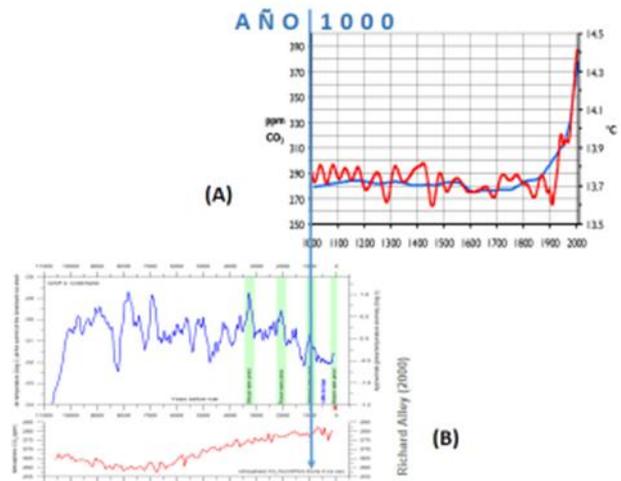


Figura 13: Investigaciones de R. Alley (B) y Michael Mann, Raymond Bradley y Malcom Hughes (A)

árboles y núcleos de hielo, reconstruido el clima desde el año 1000, cuyo grafico mantiene el clima estables hasta 1900 no reflejando periodos de alta y bajas temperaturas. Dicho grafico fue presentado por primera vez en el año 2001 por la I.P.C.C. donde se indican que la temperatura se mantuvo estable hasta el año 1900, aumentando hacia el presente.

En los distintos gráficos se observa que en los últimos 1000 años la temperatura ha variado, defiriendo de M. Mann y otros, controlando condiciones climáticas a nivel mundial, donde los efectos antropogénicos no presentan ninguna relación. En los alrededores del año 1000 se registra a nivel mundial altos de temperatura, asociado a efectos de deshielo, similares a lo que ocurre en la actualidad, con un balance hídrico de alta evaporación. Los efectos de temperatura altas se debieron combinar con descensos asociados a fenómenos hidrológicos de lluvias, las cuales se intensificaron con efectos de desastres debido a deslaves y problemas de estabilidad, con grandes aportes de sedimentos, donde las mejores evidencias han sido descritas en los puntos anteriores conrelación al ocultamiento del imperio romano, parte del cuerpo de moais cubierto por tierra y la

construcciones de terrazas a base de muros en anfiteatro topográficos producto de inestabilidad.

A partir del año 1200 se registra una estabilidad climática, que se mantiene hasta el año 1500, con rangos medios de temperatura entre verano e invierno, destacándose gran desarrollo en Europa y que coincide con la evolución de las civilizaciones Inca, Maya y Azteca.

Desde finales del siglo XV hasta el siglo XIX, se limita la llamada pequeña edad de hielo, destacándose el avance de los glaciares en los sistemas montañosos a nivel mundial, alcanzando la máxima extensión del milenio, con registro de bajas temperaturas que congelaron cauces de ríos en ciudades importantes como Londres, Paris, Washington, donde el efecto antropogénico estarían representado, por la deforestación y la energía a base de carbón y madera.

En el siglo XX, la temperatura fue ascendiendo con máximos al comienzo del siglo XXI, donde los efectos antropogénicos de la era industrial podrían tener algún efecto. El clima del planeta Tierra está controlado por la radiación solar, la cual en conjunto con la atmosfera y los efectos de evaporación en el ciclo hidrológico condiciona el habitat en su superficie. De acuerdo a Richard Alley [17] el ciclo climático del último milenio, representa un orden de temperatura menor que los ciclos de los milenios anteriores, aparentemente con una periodicidad de unos 1000 años.

VIII. TIEMPO DE LAS LLUVIAS Y SUS EFECTOS

Los efectos desastrosos de las lluvias ocupan un tiempo corto, en general de días, como ejemplo reciente lo tenemos en Vargas 1999 (Venezuela), donde tres (3) días de lluvias, 14,15 y16 de diciembre que alcanzo cerca de 800 mm, que representan de acuerdo a cálculo de diseño actuales, caudales para períodos de retorno de 1000 años, [19] y [20]. La mayor parte de las áreas afectadas se encuentra desarrollada urbanísticamente sobre amplios conos coluviales producto de inestabilidad en el pasado de las cuencas, cuya conformación de relieve suave facilito su ocupación. En el evento los sedimentos alcanzaron espesores del orden de los 10 metros avanzando en el mar por cientos de metros, modificando la línea de costa. La mayor parte de los sedimentos en calles y avenidas fueron removidos con maquinarias modernas, recuperando los niveles originales. En la actualidad las áreas afectadas se encuentran totalmente recuperadas, donde los grandes aportes de sedimentos hacia la costa fueron utilizados para la construcción de un número importante de balnearios y zonas de recreación.



Figura 14: Vista del evento de Vargas 1999, Venezuela. Parte inferior áreas recreacionales en los sectores ganados al mar 2009.

Recientemente el 2 de junio del 2016, Paris y Alemania fueron afectadas por lluvias torrenciales donde la crecida del río Sena alcanzó una altura de 5.10 metros, requiriendo evacuar a 4.000 personas que se vieron afectadas por dicho desastre, [21]. Dicho efectos de acuerdo al libro titulado "Paris Inonde. La Crue de Janvier de 1910" (Paris inundado. La crecida de enero de 1910), publicado a principios del siglo XX, abarca una descripción de los eventos climáticos desde el siglo V, [22]. La altura aproximada que logró la crecida del Sena en 1910 fue de 7.90 metros, muy parecida a una crecida que ocurrió el 18 de febrero de 1741.

Paris es una ciudad que se ha visto afectada por



Figura 15: inundación de Paris, 1910 y 2016, Imágenes Google

fuertes lluvias torrenciales desde que se tienen registros. En el libro se menciona en febrero del año 583 una inundación que sufrió la ciudad, destacando graves daños a la navegación fluvial. A partir de ese primer registró, se han obtenido muchos otros donde se mencionan inundaciones debido a crecidas del río Sena que afectaron la ciudad continuamente, desde el comienzo del siglo XII, destacándose en el libro lo siguiente: “...se obtuvieron registros de inundaciones hasta finales del siglo IX, una información que queda nuevamente interrumpida, por falta de documentación, hasta el siglo XII. Largo lapso sin noticias de las inundaciones que han podido ocurrir -lógicamente- a las orillas del Sena, que se ve compensada por la mayor riqueza de detalles que dan los nuevos cronistas de esos años entre la Alta y la Baja Edad Media”.

Se sabe de manera precisa que este fenómeno que azotaba la ciudad, no se repitió hasta el año 1910, cuando las aguas empezaron a subir el 21 de Enero alcanzando los 6 metros por encima del nivel normal el 28 de enero, comenzando a descender, volviendo a la normalidad 35 días después. El evento fue de gran importancia y noticioso, ya que por primera vez se logró registrar gráficamente los daños colosales que estas lluvias hicieron sobre París.

La historia sagrada del Génesis, [23] indica una lluvia de 40 días y 40 noches, que se describe en la tradición judeocristiana como el diluvio universal, con la construcción del Arca de Noé, en la cual salvo su familia y parejas de animales, siendo los únicos



Figura 16: arca de Noé, imágenes Google

sobrevivientes en el mundo. Se indica el desembarco a los 150 días después de comenzadas las lluvias. Figura 16.

Kauffmann Doig, F. [24], narra en Perú la leyenda de Naylamp, fundador del legendario Reino de Lambayeque, que durante Fempallec, último gobierno de la dinastía Naylamp, fue azotado por un gran diluvio que duro 30 días, acabando con el reino, seguido por periodo de sequía y hambruna. El valle de Lambayeque quedó sumido en el caos, hasta que el reino Chimú conquistó la región en el siglo XIV. En el

libro Aimi A., Makowski K., Perassi E [25], en la zona de Lambayeque, en la mayor parte de la costa oeste de Perú, se observan gran número de excavaciones arqueológica en paisajes desérticos, cuya condiciones ambientales debieron ser muy distintas para el desarrollo alcanzado de las civilizaciones que ocuparon el área.

Representar los efectos catastróficos de las lluvias en tiempo de días en un periodo de siglos o milenio, no resulta fácil, ya que son eventos de tiempo muy corto en la naturaleza, donde el ser humano se adapta fácilmente a las nuevas condiciones, destacándose en la antigüedad el ocultamiento de edificaciones y modificaciones topográficas sobre las cuales se construyen nuevamente. Los efectos de las lluvias ocurren en tiempo muy corto, donde las aguas drenan rápidamente, pudiendo tener cambios importantes en el relieve topográfico, tal como resultan los deslaves e inundaciones, considerados naturales, con recuperación del habitat, cuya catástrofe fácilmente es olvidada por el ser humano. El cambio en el relieve es proporcional a la duración de las lluvias, donde la saturación de las laderas y la pérdida de resistencia de los materiales, originaran volúmenes importantes de materiales, transportados ladera abajo, cuyo volumen dependerá de la duración de la lluvia. El desastre de Vargas 1999, se relaciona con 3 días de lluvias, ocurriendo cambios importantes en el relieve tanto en las laderas pendiente de la cuenca, como los depósitos de materiales aguas abajo.

IX. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO DEL SIGLO XII AL SIGLO XVI

Retrocediendo a la llegada de los conquistadores españoles a América, se destaca la ocupación de los valles de los ríos, a lo largo de los cuales se fundaron las ciudades actuales, como ejemplo tenemos en Perú, entre Pisac y Ollantaytambo, el río Urubamba, véase Figura 17, donde se observa el contraste de Pisac colonial y Pisac inca, en esta última las áreas restringidas de terrazas representan un espacio muy pequeño comparado con el ancho valle del río en el sector. Llama la atención el cauce recto del río Urubamba, aparentemente habiendo comenzado un proceso de canalización previo a la conquista, así como la existencia de gran cantidad de muros de control lateral del cauce. La llegada de los españoles coincidió con una etapa avanzada de manejo hidráulico del río por los incas, muy superior al conocimiento del conquistador.

El conquistador español en América debió observar sectores similares a Pisac, llamando su atención las terrazas de cultivos en laderas pendiente, venciendo cientos de metros, pero que ocupaban un área muy pequeña en comparación con el amplio valle de ríos entre montañas.

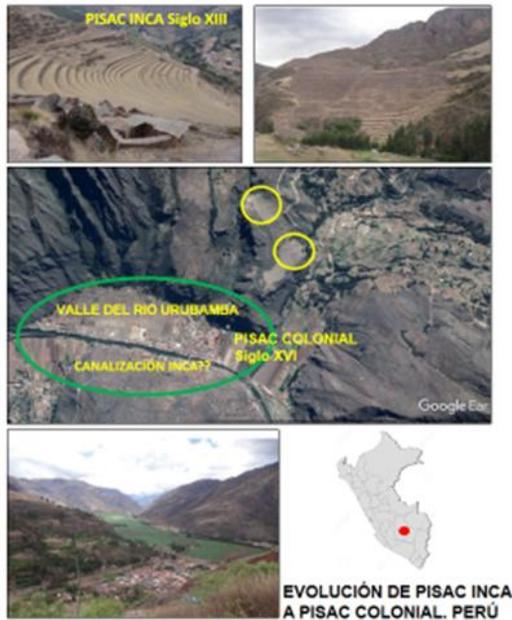


Figura 17: Zona turística de Pisac, imagen Google Earth destacándose Pisac Inca en el relieve montañoso y Pisac Colonial en el valle del río Urubamba

La pregunta que nos hacemos: ¿Qué obligó al inca a la construcción en las laderas de alta pendiente, teniendo el amplio valle aluvial del río? La respuesta más inmediata es que el valle no presentaba las condiciones topográficas tal como las observadas por los españoles.

En la Figura 18, se muestra lo que podría ser el proceso de cambio topográfico de un valle en forma de “V” al conocido valle en forma de “U”, adaptado en tiempo al cambio climático. Para el siglo XI se considera altas temperaturas, con un efecto de deforestación y un deshielo avanzado, presentando el valle una forma de “V”. A las condiciones anteriores le siguió lluvias torrenciales, continuas, con efectos de problemas de deslaves y estabilidad, donde grandes aportes de sedimentos que originaron la obstrucción del cauce, con la formación de laguna, conocidas con el término “qochas” del cual se deriva el nombre de numerosos lugares y pueblos de Perú. En el siglo XIII, la estabilidad climática, facilitó la reforestación de las laderas, donde el inca comenzó a ocupar las laderas, generando áreas planas para la siembra, con la construcción de muros de piedra, pudiendo compararse con diseños actuales modernos, previstos de obras de drenaje y sub-drenaje.

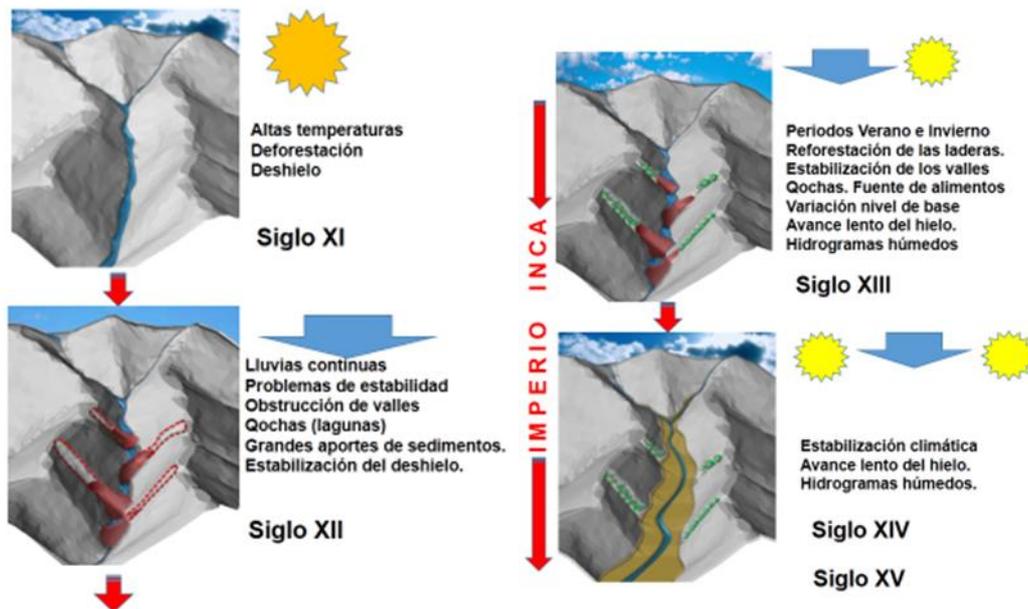


Figura 18: evolución en un relieve montañoso de un valle en “V” a un valle en “U”, adaptado cronológicamente al desarrollo del imperio Inca

Los grandes aportes de sedimentos, originaron un



Figura 19: lapso de ocupación de distintas comunidades en la isla de Pascua, según C. Stevenson y M. A. Mulroney

ascenso en el nivel de base, donde los procesos de erosión con el paso de los años, conformando un valle ancho, desapareciendo las “qochas”, con balances hídricos húmedos y un lento avance del hielo. Todo lo cual formó parte del desarrollo del imperio Inca.

La isla de Pascua, se encuentra en medio del gran océano Pacífico, donde las investigaciones sobre el desarrollo de distintas comunidades se datan a partir del año 1220, Mara Mulrooney [25] [26] y Stevenson, C. et al. [10], señaladas en la Figura 19, contrastando el paisaje actual semiárido, sin recursos de agua. En el desarrollo de las distintas comunidades el recurso de agua debió ser fundamental. En la actualidad la población de la isla de Pascua se concentra en su capital Hanga Roa, donde el suministro de agua en por

medio de pozo, encontrándose el nivel subterráneo cercano al nivel del mar, destacándose un equilibrio en el balance hídrico entre la recarga y el consumo, [28] y [29].

En la actualidad los paisajes de Europa como las áreas del imperio Inca, se presentan ampliamente deforestados, donde el agua para el consumo humano y riego llega a través de la evolución industrial, abandonando el principio básico de gravedad debido a la disminución en las cuencas del recurso agua, aunque la mayor parte del calor se obtiene de combustible fósil, reduciendo la explotación de bosque.

X. COMENTARIOS

Nuestro planeta se ha adaptado a través de la historia geológica a los cambios climáticos producto de mayor o menor radiación de los rayos solares al paso por la atmósfera, destacándose periodos de bajas temperaturas con amplias áreas cubiertas por hielo o periodos de altas temperaturas donde se debieron combinar amplias zonas desérticas con selvas. Curiosa es la época del Carbonífero hace 160 millones de años de donde provienen todos nuestros recursos de energía no renovable, y la radiación solar debió controlar un clima generalmente con periodos de lluvias abundante asociado a amplias zonas boscosas.

En la actualidad la radiación solares a través de la atmósfera, ha actuado sobre el planeta, produciendo en los últimos 100 años el llamado calentamiento global, cuyo efecto sobre las grandes masas de agua, han transformado un volumen importante en vapor de agua, así como un deshielo acentuado muy visible al periodo de vida humana, todo lo cual debe cumplir su ciclo hidrológico. La variación climática es cíclica, siendo el ejemplo más evidente nuestro día de 24 horas, donde los cambios de temperatura de noche/día son notorios. Lo anterior lo podemos ampliar a semanas, meses o años, obteniendo ciclos con diferencias estacionales importantes.

En la Figura 20, se comparan los registros GISS (NASA) de variación de temperatura entre 1960 a 1980, con los análisis que realiza Münchener Rück AG, empresa reaseguradora alemana con sede en Múnich (Munich RE), entre 1980 a 2015, los eventos de tipo hidrológicos (lluvias y movimiento de masa), los cuales han pasado de unos 50 eventos en el 1980 a más de 300 en el 2015. Las condiciones climáticas de calor podrían estar asociadas a inviernos de mayor duración y lluvias torrenciales, con una disminución gradual de la temperatura del planeta.

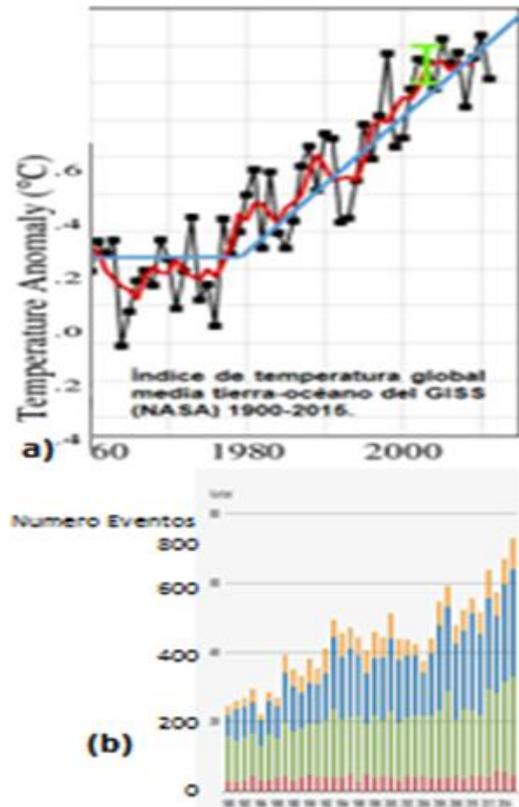


Figura 20: Comparación entre los registros GISS (NASA) de variación de temperatura entre 1960 a 1980, con los análisis que realiza Münchener Rück AG, entre 1980 a 2015

La historia climática conocida permite establecer hacia la zona subtropical las 4 estaciones al año, y hacia la zona tropical 2 estaciones, donde la intensidad de cada estación dependerá de las condiciones de temperatura global. En el punto 4) se analiza la variación de la temperatura en el último milenio, utilizando los gráficos de B. Christiansen y L. jungqvist, [6] y J. Apaéstegui, [5], pudiendo diferenciar un periodo que combina altas temperatura con descensos, limitado aproximadamente entre 950 y 1150 AD, asignando en la presente investigación como periodo de altas temperaturas (THP). A partir del año 1150 le sigue una estabilización climática cálida, al cual se restringe el periodo cálido medieval, (MCP) que se extiende hasta 1450. Desde dicho año comienza la pequeña edad de hielo (LEI) hasta 1900.

Las altas temperaturas en el periodo THP, están asociadas con descensos indicativos de enfriamiento del planeta, posiblemente relacionadas con periodos de lluvias de mayor duración cuyos efectos están evidenciados por proxies a la vista de las llamadas excavaciones arqueológicas y a la presencia de anfiteatros topográficos donde se construyeron las terrazas de cultivo en ladera por los incas. Todo lo anterior tiene relación con el origen y desarrollo de las civilizaciones al comienzo del último milenio, tal como lo concluye en la investigación del trabajo especial de grado de Circelli, A. L. Y Gomez, M. G. [30]

XI. CONCLUSIONES

En el último milenio los cambios climáticos se encuentran reportados en forma narrativa y escritas, por la humanidad, verificados con resultados a través de investigaciones mediante proxies, en núcleos de hielo, anillos de árboles, acumulación de sedimentos, depósitos carbonáticos etc., a lo cual hay que agregarle los proxies geomorfológicos en general no analizados ni reportado en su relación con condiciones climáticas. Las excavaciones arqueológicas evidencian las condiciones climáticas del evento, primero por el ocultamiento y segundo, por el contraste entre el paisaje que controla actualmente el sector y el que existió para el desarrollo sustentable de la comunidad.

Desde el año 1000 al presente la variación esquemática de las condiciones ambientales: temperatura, hielo, lluvia, vegetación y los efectos de deslaves, se encuentra representado en la Figura 10, donde se cumple un ciclo con el mal llamado calentamiento global. El alto de temperatura en el año 1000 (THP), viene precedido por un descenso, debiendo estar relacionado con efectos de lluvias o hielo, donde el ciclo tiende a repetirse en el siglo XXI.

En la actualidad el ascenso del calentamiento global está relacionado con mayores efectos de lluvias torrenciales, lo que debe traer como efectos una baja en la temperatura, pudiendo estar relacionadas en las zonas subtropicales por frío intensos y en la zona tropical por lluvias. Hacia el 2030 el deshielo tenderá a estabilizarse sin avances importantes, pero las lluvias se intensificarán en el planeta haciendo que el recurso agua pueda ir formando un balance hídrico húmedo donde la estabilidad de las cuencas y aportes de sedimentos serán un problema para las áreas habitadas ladera abajo. Los resultados del pasado cercano, con conformación topográfica suave aguas abajo, debido a problemas de estabilidad por saturación de las laderas de las cuencas, constituyen proxies de condiciones climáticas en el futuro cercano que deben tenerse en cuenta en ciudades que aprovecharon a partir del siglo XVI, dicha conformación para su desarrollo urbanístico.

XII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Shady. R y Leyva C (2003), LA CIUDAD SAGRADA DE CARAL-SUPE. Los orígenes de la civilización andina y la formación del Estado prístino en el antiguo Perú. Instituto Nacional de Cultura. Proyecto Especial Arqueológico Caral-Supe 2003
- [2] Stephanie Cortes (2016), "Que es ENSO- La oscilación del Sur". CLIMAS. Climate Assessment for the Southwest. Thursday, January 28, 2016,
- [3] Boletines mensuales del Centro de Predicciones climáticas/NCEP/NWS y el Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad.
- [4] Fraika E.-Williams, C. Beaulieu & A. Duchez (2017), Índice de Oscilación Multidecadal Atlántica negativo a pesar de los subtropicales cálidos. Informes científicos 7, Número de artículo: 11224.
- [5] J. Apaéstegui y otros (2015), Hydroclimate variability of the northwestern amazon basin near the andean foothills of peru related to the south american monsoon system during the last 1600 years. Climate of the Past, European Geosciences Union (EGU), 2014, 10 (6), pp.1967-1981. Hal-01139570.
- [6] B. Christiansen And Fc Ljungqvist (2012) "The Extra-Tropical Northern Hemisphere Temperature In The Last Two Millennia: Reconstructions Of Low-Frequency Variability" Climate Of The Past.
- [7] R. García R., E. García. R (2017) Cambio Climático Actual, Lluvias Torrenciales Y Deslaves Previo A La Evolución Del Imperio Inca Y La Civilización En La Isla De Pascua, Efectos Similares Hacia El 2030. Revista Tekhné 20(3), Facultad de Ingeniería, UCAB.
- [8] "Gronland gar over till selvstyre" nyhederne.tv2.dk (en danés). TV 2. 21 de junio de 2009. Volver arriba↑ (en danés) Befolkningen pr 1 juli: Gronlands Statistik.
- [9] Calixto Ferreras Fernández , (2005). Historia del Clima Mediterráneo. Serie Técnica y de Estudio (29) Murcia.
- [10] Stevenson, C., Puleston, C., Vitousek, P., Haoa, S., Ladefoged, T., & Vitousek, P. (2014). Variación en el uso de la tierra de Rapa Nui (Isla de Pascua) indica picos de producción y población antes del contacto europeo. California.
- [11] Prieto, J., Fortes, C., Cabrera, J., Fortes, J., & Gonzales, R. (2005). Estado del arte de la tecnología medieval y su contribución al descubrimiento de América. Huelva, España.
- [12] Munich Re. (2016). (Münchener Rück Ag, Empresa Reaseguradora Alemana)."Eventos De Pérdida En Todo El Mundo 1980-2015". Munich.
- [13] Thompson L. And Davis M. (2014) "An 1800 Year Ice Core History Of Climate And Environment In The Andes Of Southern Peru And Relationship With Highland/Lowland Cultural Oscillations". Chapter 23. Bprc.Osu.Edu/Icecore
- [14] Moy Chistopher M. (2002) "Variabilidad De El Niño / Southern Actividad De Oscilación En El Milenio. Escalas De Tiempo Durante La Época Holocena". Naturaleza | Vol 420 | 14 De Noviembre De 2002.
- [15] Loehle, Craig (2007). "A 2000 Year Global Temperature Reconstruction Based On Non-Tree Ring Proxies" (Pdf). Energy & Environment. 18 (7 & 8): 1049–1058.
- [16] Loehle, Craig; Mcculloch, J. Houston (2008). "Correction To: A 2000 Year Global Temperature Reconstruction Based On Non-Tree Ring Proxy Data" (Pdf). Energy & Environment. 19 (1): 93–100.
- [17] Alley Richard B. (2000). "The Two-Mile Time Machine: Ice Cores, Abrupt Climate Change, And Our Future". Princeton University Press. 229 P.
- [18] Mann, M., Osborn, T., Bradley, R., Briffa, K., Hughes, M., & Jones, D. (1999). Northern Hemisphere Temperatures During The Past. Amherst Y Tucson. Departamento De Geociencia De La Universidad De Massachusetts.
- [19] Muguerza Armada, A. (1999). Aguas arriba del flujo torrencial. Un análisis geotécnico-meteorológico de la tragedia de Vargas. Caracas: Fundación Polar.
- [20] López , J. L. (2010). Lecciones Aprendidas del desastre de Vargas. Caracas: Gráficas Lauki.
- [21] Huffington Post. (2 de Junio de 2016). París inundado y en alerta por la crecida del Sena . Recuperado el 20 de Abril de 2017, de Huffington Post: http://www.huffingtonpost.es/2016/06/02/paris-inundado-fotos_n_10261630.html
- [22] Bitácora de Pedro Morgan. (28 de enero de 2011). Paris y El Calentamiento Global. De las Inundaciones de 1910 a 2010. Recuperado el 20 de abril de 2017, de La Bitácora de Pedro Morgan: <https://bitacoradepedromorgan.wordpress.com/2011/01/28/paris-y-el-calentamiento-global-de-las-inundaciones-de-1910-a-las-de-2010/>
- [23] LIBRO DEL GÉNESIS. CAPÍTULO 6. EL DILUVIO www.vicariadepastoral.org.mx/sagrada_escritura/biblia/antiguo.../01_genesis_02.htm.
- [24] Kauffmann Doig, F. (2002), Historia y arte del Perú antiguo. Tomo 3, pp. 401-412. Lima, Ediciones PEISA, 2002
- [25] Aimi A., Makowski K., Perassi E. 2016 LAMBAYEQUE NUEVOS HORIZONTES DE LA ARQUEOLOGÍA PERUANA. ISBN: 978-88-6705-572-2. Editorial: Ledizioni, via Alamanni 7, 20141 Milano. Italia
- [26] Mulrooney, Mara Anna (2013). "Una Evaluación De Toda La Isla De La Cronología Del Asentamiento Y El Uso En Rapa Nui (Isla De Pascua), Basado En Datos De Radiocarbono". Bernice, Honolulu, Hawai.
- [27] Mulrooney, Mara Anna (2012) "Continuity Or Collapse? Diachronic Settlement And Land Use In Hanga Ho'Onu, Rapa

- Nui (Easter Island)". Auckland, Nueva Zelanda: Departamento De Antropología De La Universidad De Auckland.
- [28] ERROL L. MONTGOMERY & ASSOCIATES, INC. (2011) CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS ISLA DE PASCUA, CHILE. Water Resource Consultants S.I.T. N° 229. Gobierno de Chile. Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas. División de Estudios y Planificación
- [29] ERNST HAJEK Y GUILLERMO A. ESPINOZA (1987) "METEOROLOGY, CLIMATOLOGY AND BIOCLIMATOLOGY OF THE CHILEAN OCEANIC ISLANDS". Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Ciencias Biológicas. Departamento de Biología Ambiental y de Poblaciones. Casilla 114-D, Santiago, Chile.
- [30] Circelli, A. L. Y Gomez, M. G. (2017) "Análisis De Cambios Climáticos Y Deslaves Desde El Año 1000 Al 2016, Y Evaluación De Posibles Desastres A Nivel Mundial Hacia El Año 2030". Universidad Católica Andrés Bello, Ucab, Caracas, Venezuela. Trabajo Especial De Grado Para Optar Al Título De Ingeniero Civil.