

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis de cambios climáticos y deslaves desde el año 1000 al
2016, y evaluación de posibles desastres a nivel mundial hacia el año 2030

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar por el título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR:

Luigi Circelli Agostinelli

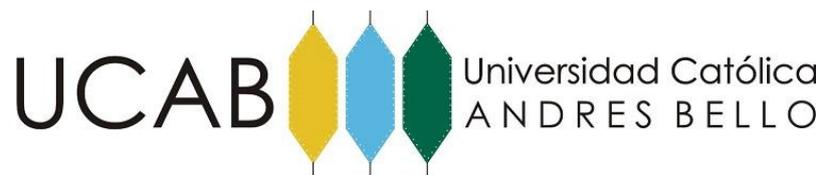
Gabriel Gómez Manrique

TUTOR:

Ing. Roque García Ruiz

FECHA:

Caracas, junio de 2017



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado: _____

JURADO EXAMINADOR

Nombre:

Nombre:

Nombre:

Firma: _____

Firma: _____

Firma: _____

REALIZADO POR:

Luigi Circelli Agostinelli

Gabriel Gómez Manrique

TUTOR:

Ing. Roque García Ruiz

FECHA:

Caracas, junio de 2017

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, especialmente a mi papá, Gabriel; mi mamá, Enriqueta y mi perro Goliat. Siempre les estaré agradecido por todo el apoyo que me brindaron durante la carrera. Sé que el esfuerzo fue de nosotros, en conjunto, y debido a esto, puedo decir que llegué a la “meta”, en gran parte por ustedes. Una vez más, gracias.

A nuestro tutor, el Ing. Roque García, por habernos guiado y brindado todas las herramientas necesarias para poder culminar exitosamente este Trabajo Especial de Grado.

Al Ing. Ricardo Rivas por sus recomendaciones de gran utilidad.

Gabriel Gómez.

A mis padres, Cristina y Enzo, por todo el apoyo recibido durante la realización de este trabajo. Gracias a mi hermana, su esposo, por nunca dudar en brindarme ayuda cuando la necesitaba.

A todos los profesores e ingenieros que contribuyeron con mi formación como ingeniero civil Así como al Ing. Ricardo Rivas, por sus valiosas recomendaciones y apoyo.

En especial al Ing. Roque García Ruiz, por todas sus recomendaciones, orientación, conocimientos, motivación y sobre todo paciencia, que hicieron posible la elaboración de este Trabajo Especial de Grado.

Muchas Gracias.

Luigi Circelli.

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis de cambios climáticos y deslaves desde el año 1000 al 2016, y evaluación de posibles desastres a nivel mundial hacia el año 2030.

Autores: Luigi Circelli Agostinelli / Gabriel Gómez Manrique

Tutor: Ing. Roque García Ruiz

RESUMEN

Se analiza la hipótesis de que la temperatura global en la historia del Planeta Tierra es cíclica, y que dentro del ciclo, el aumento de temperatura viene precedido de disminuciones como las conocidas edades de hielo, o pequeñas eras de hielo. El presente Trabajo Especial de Grado analiza y evalúa dichos fenómenos en los últimos 1000 años, utilizando como referencia comparativa estudios realizados de variación de temperatura mediante indicadores climáticos conocidos como Proxies, cuyas mediciones se basan en anillos de árboles, corales, polen fósil, núcleos de hielo, sedimentos en lagos y océanos, espeleotemas y niveles de Carbono 14, CO₂, O₁₆ y O₁₈.

Se estableció como período de investigación el último milenio, donde las variaciones de temperatura se relacionan con eventos climáticos, principalmente, lluvias asociadas a problemas de deslaves producto de saturación en laderas, los cuales han marcado el desarrollo de distintas civilizaciones en la historia. El actual calentamiento global puede indicar, como en el pasado ocurrieron cambios hacia eventos climáticos después de la terminación de un ciclo, relacionados con lluvias de mayor intensidad y duración con efectos de deslaves en áreas en la actualidad densamente pobladas.

Palabras claves: *proxies, temperatura global, fenómenos climáticos, calentamiento global, deslaves, ocultamientos arqueológicos.*

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	V
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
CAPÍTULO I.INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. ANTECEDENTES	3
1.2.1. <i>Historia del I.P.C.C.</i>	4
1.3. ALCANCE Y LIMITACIONES	6
1.4. OBJETIVO GENERAL	7
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO II.MARCO TEÓRICO	8
2.1. MEDICIONES DEL CLIMA	9
2.2. INFORMACIÓN OBTENIDA POR PROXIES	10
2.2.1. <i>Oxígeno</i>	10
2.2.1.1. Variación en la concentración de oxígeno	10
2.2.1.2. Concentración de Oxígeno en el Océano.....	11
2.2.1.3. Análisis del Oxígeno.....	11
2.2.2. <i>Carbono 14</i>	12
2.2.2.1. Datación mediante Carbono 14.....	12
2.3. TIPOS DE PROXIES	13
2.3.1. <i>Dendrocronología</i>	13
2.3.2. <i>Núcleos de Hielo</i>	13
2.3.3. <i>Corales</i>	14
2.3.4. <i>Polen Fósil</i>	15

2.3.5.	<i>Sedimentos</i>	15
2.3.6.	<i>Espeleotemas</i>	16
2.4.	INVESTIGACIONES PALEOCLIMÁTICAS EXISTENTES.....	17
2.4.1.	<i>Michael Mann, Raymond Bradley y Malcom Hughes (1999)</i>	17
2.4.2.	<i>B. Christiansen y Ljungqvist (2012)</i>	18
2.4.3.	<i>Lonnie Thompson y Mary Davis (2012)</i>	20
2.4.4.	<i>Craig Loehle. (2008)</i>	21
2.4.5.	<i>Calixto Ferreras Fernández (2005)</i>	22
2.4.6.	<i>Richard Alley (2000)</i>	24
2.4.7.	<i>Christopher Moy (2002)</i>	26
2.5.	DESLAVES Y CONFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.....	27
2.5.1.	<i>Definición de Deslave</i>	27
2.5.2.	<i>Causas de los deslaves</i>	29
2.5.3.	<i>Formas Topográficas</i>	30
2.6.	LAS LLUVIAS Y SU INTENSIDAD	31
2.6.1.	<i>Lluvias</i>	31
2.6.2.	<i>Origen de la lluvia</i>	33
2.6.3.	<i>Tipos de lluvia</i>	33
2.6.3.1.	<i>Lluvia de Convección</i>	33
2.6.3.2.	<i>Lluvias Orográficas</i>	33
2.6.3.3.	<i>Lluvias Ciclónicas</i>	34
2.7.	FENÓMENO DE EL NIÑO Y LA NIÑA.....	34
2.7.1.	<i>Relación con el Cambio Climático</i>	35
2.8.	LA EVOLUCIÓN DE LAS CIVILIZACIONES DESDE EL AÑO 1000 Y LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS.....	36
	CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	38
3.1.	COMPARACIÓN	39
3.2.	VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN EL ÚLTIMO MILENIO	39
3.3.	DESCRIPCIÓN DE LAS INVESTIGACIONES EXISTENTES.	40
3.4.	TENDENCIAS DE TEMPERATURAS DESDE EL AÑO 1000.	42
3.5.	RESUMEN DE LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA DESDE EL AÑO 1000... 43	

3.5.1.	<i>Resumen gráfico de las temperaturas durante los últimos 1000 años según los distintos autores analizados, especificando MCA y LIA en cada uno. ..</i>	45
3.6.	ANÁLISIS DE EVENTOS CLIMÁTICOS DE SITIOS EN ESTUDIO.....	46
3.6.1.	<i>Roma (Italia)</i>	47
3.6.1.1.	Algunas Edificaciones Ocultas.	48
3.6.1.2.	El Ocultamiento de la Roma Antigua.	52
3.6.2.	<i>Brujas (Bélgica)</i>	53
3.6.2.1.	La tormenta que abrió paso a las riquezas en Brujas	53
3.6.2.2.	La Evolución de Brujas y el Cambio Climático.	54
3.6.3.	<i>Isla de Pascua (Chile)</i>	56
3.6.3.1.	El Origen de los habitantes de Pascua	57
3.6.3.2.	Los Moais.....	57
3.6.3.3.	Edad de los Moais.....	58
3.6.3.4.	Isla de Pascua y el termómetro a nivel mundial.	59
3.6.4.	<i>Paris y las Lluvias Torrenciales</i>	61
3.6.4.1.	Desarrollo de Paris	61
3.6.4.2.	Ocultamiento Parisinos	62
3.6.4.3.	Inundaciones de Importancia en Paris	63
3.6.5.	<i>Tiempo del Ocultamiento de Monumentos Romanos.</i>	65
3.6.6.	<i>Desarrollo Inca en El Valle del Río Urubamba (Perú).</i>	66
.....	66
3.6.6.1.	Desarrollo del Valle Sagrado.	67
3.6.7.	<i>Construcción de Terrazas (Andenes).</i>	67
3.6.7.1.	La Terraza de Cultivos en Anfiteatros Topográficos.....	68
3.6.7.2.	El Desarrollo del Valle Sagrado y el Cambio Climático.	69
3.7.	RESUMEN DE LOS EVENTOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA EVOLUCIÓN EN LOS SITIOS INVESTIGADORES	71
3.8.	CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LOS SIGLOS XX Y XXI	72
3.9.	EVENTOS CLIMÁTICOS EN EL MUNDO 1980-2015.....	74
3.10.	¿LA TIERRA EN RIESGO, DESLAVES Y LLUVIAS TORRENCIALES?	76
	CAPÍTULO IV.CONCLUSIONES.....	79
	CAPÍTULO V.RECOMENDACIONES	82

BIBLIOGRAFÍA	84
---------------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA I-2 :ANOMALÍA DE TEMPERATURAS MEDIAS GLOBALES MEDIDAS DESDE EL AÑO 1880 HASTA EL 2014.	5
FIGURA II-1: LOCALIZACIÓN MUNDIAL DE ALGUNOS PROXIES.....	9
FIGURA II-2: PERFORACIÓN Y EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS DE HIELO EN GROENLANDIA..	14
FIGURA II-3: LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE PROXIES POR TIPO DE RESOLUCIÓN.	19
FIGURA II-4: LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE PROXIES UTILIZADOS POR LOEHLE.....	21
FIGURA II-5: DESLAVE DE VARGAS 1999.	28
FIGURA II-6: COMPARACIÓN GRÁFICA DE LA CUENCA DE CARABALLEDA.....	28
FIGURA II-8: ANFITEATRO TOPOGRÁFICO EN PISAC, PERÚ.....	30
FIGURA II-7: CURVAS DE NIVEL DE UN ANFITEATRO TOPOGRÁFICO	30
FIGURA II-9: DEFINICIÓN GRÁFICA DE LLUVIA, NIEVE Y GRANIZO.	31
FIGURA II-10: CONDICIONES EL NIÑO Y LA NIÑA.	34
FIGURA II-11: MOVIMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES, BAJO CONDICIONES NORMALES, Y DURANTE EL FENÓMENO EL NIÑO.	35
FIGURA II-12: PARÁMETROS CLIMÁTICOS NORMALES, Y BAJO EL FENÓMENO DE EL NIÑO.	36
FIGURA III-1: UBICACIÓN DE LAS CIUDADES QUE SE ANALIZARÁN.....	46
FIGURA III-3: UBICACIÓN DE ROMA.....	47
FIGURA III-4: FORO ROMANO EN LA ACTUALIDAD.	47
FIGURA III-5: IGLESIA PALEOCRISTIANA (SIGLO I.V.) DEBAJO DE LA ACTUAL BASÍLICA DE SAN CLEMENTE.	49
FIGURA III-6:CASA MÁS ANTIGUA CONOCIDA DE ROMA (SIGLO VI A.C.) CUYAS RUINAS SIRVEN DE CIMIENTO PARA LAS COLUMNAS DEL PALACIO DE CANEVARI.	49
FIGURA III-7:COLUMNAS APOYADAS SOBRE LOS MUROS DEL MITREO DEL CIRCO MÁXIMO.....	50
FIGURA III-8: LA RAMPA IMPERIAL DE DOMICIANO.....	50
FIGURA III-9: FORTALEZA MILITAR DEL SIGLO II.	51
FIGURA III-10: UBICACIÓN DE BRUJAS.....	53
FIGURA III-11: IMAGEN SATELITAL DE BRUJAS Y SU CANAL DIRECTO AL PUERTO DE ZEEBRUGE.	53

FIGURA III-13: EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL ÁREA DEL DELTA DEL RIN-MOSA-ESCALDA DESDE LA ÉPOCA ROMANA HASTA LA EDAD MEDIA.....	55
FIGURA III-12: UBICACIÓN DEL CANAL ZWIN, ACTUALMENTE SEDIMENTADO.....	54
FIGURA III-14: UBICACIÓN DE LA ISLA DE PASCUA.....	56
FIGURA III-15: FORMA DE LA ISLA Y UBICACIÓN DE LOS MOAIS.	56
FIGURA III-16: CUERPO DE UN MOAI ENTERRADO MAS DE 3M.	57
FIGURA III-17: EXCAVACIONES DE MOAIS.	58
FIGURA III-18: UBICACIÓN DEL ÁREA 1 SEGÚN STEVENSON, ET AL.	60
FIGURA III-19: UBICACIÓN DE PARÍS.	61
FIGURA III-20: TERMAS DE CLUNY.	62
FIGURA III-21: RUINAS DE LA CRIPTA DE NOTRE DAME.....	63
FIGURA III-22: INUNDACIÓN DE PARÍS. (1910).....	63
FIGURA III-23: INUNDACIÓN DE PARÍS (2016).....	64
FIGURA III-24: MONTAÑAS MÁS RELEVANTES DE PARÍS.	65
FIGURA III-25: EXTENSIÓN DEL IMPERIO INCA.....	66
FIGURA III-26: VALLE DE URUBAMBA.	66
FIGURA III-27: VISTA DEL AMPLIO VALLE ALUVIAL DEL RÍO URUBAMBA. (PISAC).....	67
FIGURA III-27: VISTA SUPERIOR DE LAS TERRAZAS DE CULTIVOS DE PISAC.....	67
FIGURA III-28: TERRAZAS DE PISAC.....	68
FIGURA III-29: EVOLUCIÓN DE UN PROCESO DE INESTABILIDAD DE FORMA CONVEXA Y LA CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS DE CULTIVO.	68
FIGURA III-30: PERFIL TOPOGRÁFICO CON PLANO DE DESLIZAMIENTO Y LA CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS DE CULTIVO.	69
FIGURA III-31: VISTA DEL POBLADO DE URUBAMBA Y EL AMPLIO CONO COLUVIAL.	70
FIGURA III-32: UBICACIÓN DE LOS EVENTOS CLIMÁTICOS EN EL AÑO 2015. CLASIFICADOS SEGÚN SU TIPO.	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO I-1: EXTRACTO DE RICHARD ALLEY (2000).	2
GRÁFICO II-1: GRÁFICO DEL PALO DE HOCKEY, DATOS DE MANN ET AL.	18
GRÁFICO II-2: ANOMALÍAS DE TEMPERATURA DE LOS ÚLTIMOS 2000 AÑOS.	19
GRÁFICO II-3: GRÁFICO DE LA DESVIACIÓN ISOTÓPICA DE OXÍGENO OBTENIDA DE NÚCLEOS DE HIELO EN EL GLACIAR DE QUELCCAYA, PERÚ.	20
GRÁFICO II-4: GRÁFICO REPRESENTATIVO DE DESVIACIONES ISOTÓPICAS DE OXÍGENO DESDE EL AÑO 1000 AL 2000.	21
GRÁFICO II-5: GRÁFICO DE ANOMALÍA DE TEMPERATURAS (°C) ENTRE EL AÑO 0 Y 2000.	22
GRÁFICO II-6: RECONSTRUCCIÓN GRÁFICA DE LA HISTORIA DEL CLIMA MEDITERRÁNEO. (FERRERAS FERNANDEZ, CALIXTO).....	24
GRÁFICO II-7: RECONSTRUCCIÓN DE TEMPERATURA DE 10700 AÑOS ANTES DEL PRESENTE, SEGUN EL GLACIAR GISP2, EN GROENLANDIA.....	25
GRÁFICO II-8: COMPARACIÓN ENTRE THOMPSON, L. Y MOY, CHRYSSTOPHER.....	26
GRÁFICO III-1: EXTRACTO DEL GRÁFICO III-3	41
GRÁFICO III-2: EXTRACTO DEL GRÁFICO III-3	42
GRÁFICO III-3: DELIMITACIÓN DE MCA Y LIA PARA CADA INVESTIGADOR.	45
GRÁFICO III-4: COMPARACIÓN DE LA ANOMALÍA DE TEMPERATURA ENTRE EL AÑO 1900 HASTA NUESTROS DÍAS, SEGÚN CHRISTIANSEN, ET AL., Y LA NASA.	72
GRÁFICO III-5: CANTIDAD DE EVENTOS RELEVANTES SEGUN MUNICH RE, DESDE EL AÑO 1980 AL 2015.	74
GRÁFICO III-6: LÍNEA DE TENDENCIA LINEAL HACIA EL AÑO 2030, UTILIZANDO LOS DATOS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS DE MUNICH RE, PRESENTADOS EN EL GRÁFICO III-5.....	75
GRÁFICO III-7:LÍNEA DE TENDENCIA EXPONENCIAL HACIA EL AÑO 2030, UTILIZANDO LOS DATOS DE EVENTOS HIDROLÓGICOS DE MUNICH RE, PRESENTADOS EN EL GRÁFICO III-5.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA II-1: DATA UTILIZADA POR MANN ET AL.	17
TABLA II-2: PROXIES UTILIZADOS POR CHRISTIANSEN Y LJUNGQVIST	18
TABLA II-3: TIPO DE PRECIPITACIÓN.	32
TABLA II-4: LÁMINAS DE LLUVIA COMPRENDIDAS PARA EL 14,15 Y 16 DE DICIEMBRE DE 1999 (EN MM).	33
TABLA III-1: RESUMEN DE EVENTOS CLIMÁTICOS RELACIONADOS CON LA EVOLUCIÓN DE LOS SITIOS INVESTIGADOS.....	71

Análisis de cambios climáticos y deslaves desde el año 1000 al 2016, y evaluación de posibles desastres a nivel mundial hacia el 2030.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los deslaves son procesos naturales, cuyo producto de materiales deslizados y transportados por el agua son acumulados al pie de las montañas, conformando pendientes suaves que han formado el relieve topográfico para dar paso al desarrollo de las principales capitales y ciudades importantes en el mundo. Estos constituyen problemas de estabilidad en zonas montañosas, debido a la saturación de las laderas, por efecto de lluvias continuas, donde la pérdida de resistencia en las rocas, afectadas por la meteorización, origina deslizamientos en forma de flujo, conformando anfiteatros topográficos.

Los deslaves han ocultado ciudades antiguas que han sido objeto de investigaciones arqueológicas, surgiendo las siguientes interrogantes: ¿Tiene relación el cambio climático con los deslaves y la estabilidad de laderas?, ¿Cómo ha influido esto en la evolución de las civilizaciones en los últimos 1000 años?

El tema de investigación se encuentra planteado en el artículo “LOS DESLAVES EN LA EVOLUCIÓN DE LAS CIVILIZACIONES DESDE LOS ROMANOS HASTA LOS INCAS” de R. García (2016), donde se describe la importancia de los cambios climáticos en la evolución de las distintas civilizaciones, relacionadas con el ocultamiento parcial del Imperio Romano y la evolución del Imperio Inca, principalmente desde el año 1000. Dicho artículo, está basado en distintas investigaciones realizadas por C. M. Moy (2002), C. Loehle (2008), B. Chistiansen (2012), L. Thompson (2014) y Richard Alley (2000).

A partir del año 1000 hasta el año 1450, la temperatura global comenzó a descender, marcándose a nivel mundial lo que se ha denominado Período Cálido Medieval hasta el año 1450, seguido por la Pequeña Edad de Hielo hasta 1900, desde donde la temperatura ha ascendido, siendo esto de gran preocupación por la comunidad científica mundial, destacándose a finales del año 2015, la conferencia de Paris, del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (I.P.C.C). Existen algunos estudios que relacionan el descenso de la temperatura con las precipitaciones torrenciales, pero no se presenta información de los cambios topográficos como consecuencia de deslaves o deslizamiento de laderas, por la saturación de las masas rocosas. (Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, 2015)

Según investigaciones recientes (véase capítulo 2), se indica en el año 1000 un registro de temperaturas altas, parecidas a las de la era actual, asociado a lluvias intensas en el planeta que presentan su mayor frecuencia entre los siglos XI y XIII, en el que R. García (2016), relaciona en gran parte con el ocultamiento de algunos monumentos del Imperio Romano antiguo y el surgimiento del Imperio Inca, a partir del año 1200.

“De acuerdo a las leyendas Incas el imperio surge de un gran diluvio que abatió la tierra, ocupando con un impresionante desarrollo las laderas montañosas, tal como se observa en Pisac, Ollantaytambo y Machu Picchu, estando los amplios valles aluviales, a la llegada de los españoles, sin ocupación. Una pregunta que surge es el por qué los Incas no ocuparon los valles existentes, los cuales ofrecían mayor facilidad de poblar y de sembrar. Otra pregunta que nos hacemos, ¿Ocurrieron algunos fenómenos de estabilidad por los que los Incas no poblaron los valles?” (García, 2016)

De la amplia investigación existente de cambios climáticos, destaca un artículo de Richard Alley (2000), en donde analiza la variación climática de hace 10.700 años

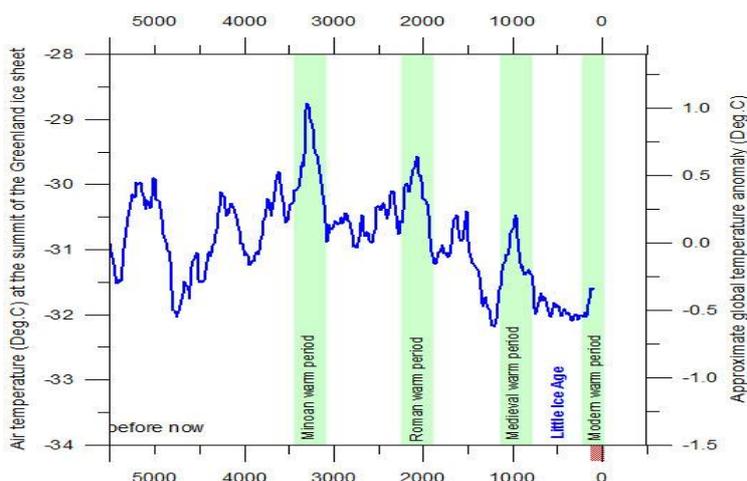


Gráfico I-1: Variación de temperatura de los últimos 5.000 años.

Fuente: Alley, Richard.

hasta nuestros días. Este trabajo está basado en la desviación isotópica de oxígeno en núcleos de hielo extraídos de glaciares en Groenlandia (GISP2), cuyos resultados se resumen en la **Gráfico I-1**. A pesar de que para muchos esto genere una disputa, hay datos de núcleos de hielo, anillos de árboles, turberas, y otros datos que apoyan que tanto el M.C.A. (Medieval Calid Age) como el R.W.P. (Roman Warm Period) tuvieron temperaturas más altas que las actuales. Esto podría significar que está ocurriendo un máximo climático de un ciclo de 1.000 años aproximadamente. (Alley, The Two-Mile Time Machine, 2000)

Aparentemente, períodos de lluvias de mayor duración e intensidad que los actuales ocurrieron después de que el planeta alcanzó altas temperatura en el año 1000. Situación similar ocurre en el presente, donde el calentamiento global está siendo

relacionado con la época industrial desde el año 1900 y el aumento de CO₂. (Mann, Osborn, Bradley, Briffa, Hughes, & Jones, 1999)

En el año 1000 cuando el planeta alcanzó altas temperaturas no existían las condiciones industriales de la actualidad, por lo cual el fenómeno pudiera ser de carácter cíclico, pudiendo estar el planeta en la actualidad encaminado hacia un período de enfriamiento, asociado a períodos de lluvias similares a los que ocurrieron en el comienzo del milenio, con problemas de deslaves e inundaciones, sobre una población de más de 7 mil millones de habitantes en comparación con los 300 millones que hubo en el año 1000. (García, 2016)

Por otro lado, se destaca que importantes desarrollos urbanísticos a nivel mundial se encuentran al pie de monte de áreas montañosas, donde la estabilidad de las laderas fácilmente puede alterarse como en el evento de Vargas 1999 ocasionando graves daños de tipo social y económico.

1.1. Planteamiento del problema

El presente Trabajo Especial de Grado tiene como propósito investigar la interrogante sobre la relación que puede existir entre los cambios climáticos, y la variación de la temperatura a nivel mundial en el pasado, y períodos de ocurrencia de altas precipitaciones que pudieron originar deslaves o deslizamientos en laderas, ocasionando ocultamientos arqueológicos y el desarrollo de civilizaciones a partir del año 1000.

La situación actual a nivel mundial de las altas temperaturas alcanzadas, pueden tener una similitud con las temperaturas que se encuentran reportadas en el año 1000, las cuales entraron en un descenso hacia el año 1200, y que se encuentran relacionadas aparentemente con períodos de lluvias de mayor duración e intensidad que las actuales.

1.2. Antecedentes

El desarrollo de la civilización como la conocemos hoy en día, se vio afectado hace miles de años por deslaves y deslizamientos de los cuales, en su mayoría, no se tiene registro alguno. Sin embargo, hay evidencias de ocultamientos y de metodologías de expansión de civilizaciones, como lo propone R. García (2016), en su artículo “Los Deslaves en la Evolución de las Civilizaciones desde los Romanos hasta los Incas”. Dichos fenómenos están asociados a niveles de saturación de laderas, las cuales se

buscarán relacionar con la temperatura global mediante los distintos proxies conocidos. El Trabajo Especial de Grado busca relacionar estos aspectos geológicos con aspectos climáticos, haciendo posible inferir variaciones climáticas en un futuro.

1.2.1. Historia del I.P.C.C.

En 1988 se creó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (I.P.C.C. por sus siglas en inglés) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En 1990 este grupo presentó un primer informe de evaluación en el que se reflejaban las investigaciones de 400 científicos. En él se afirmaba que el calentamiento atmosférico de la Tierra era real y se pedía a la comunidad internacional que tomara cartas en el asunto para evitarlo. (Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático (IPCC))

Las conclusiones del I.P.C.C. alentaron a los gobiernos a aprobar la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En comparación con lo que suele ocurrir con los acuerdos internacionales, la negociación en este caso fue rápida. La Convención estaba lista para firmar en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que se celebró en Río de Janeiro en el año 1992, conocida como Cumbre para la Tierra. (Convención Marco sobre el Cambio Climático, 2014)

Hoy en día el I.P.C.C. tiene una función claramente establecida. En lugar de realizar sus propias investigaciones científicas, examina las investigaciones realizadas en todo el mundo, publica informes periódicos de evaluación (hasta ahora han sido cuatro) y elabora informes especiales y documentos técnicos. (Convención Marco sobre el Cambio Climático, 2014)

Las observaciones del I.P.C.C., por el hecho de reflejar un consenso científico mundial y ser de carácter apolítico, representan un contrapeso útil en el debate, con frecuencia muy politizado, sobre qué se debe hacer respecto al cambio climático que sufre la Tierra. Los informes del I.P.C.C. se utilizan con frecuencia como base para las decisiones adoptadas en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (C.M.N.U.C.C.), y desempeñaron un papel importante en las negociaciones que se dieron lugar en el Protocolo de Kyoto. (Convención Marco sobre el Cambio Climático, 2014)

En la conferencia de París (2015) se concluye lo siguiente: “...se observa con preocupación que los niveles estimados de las emisiones agregadas de gases de efecto invernadero en 2025 y 2030 resultantes de las contribuciones previstas determinadas a nivel nacional no son compatibles con los escenarios de 2 °C de menor costo sino que conducen a un nivel proyectado de 55 gigatoneladas en 2030, y observa también que, para mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, mediante una reducción de las emisiones a 40 gigatoneladas, o por debajo de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, mediante una reducción de las emisiones a un nivel que se definirá en el informe especial mencionado en el párrafo 21 infra, se requerirá un esfuerzo de reducción de las emisiones mucho mayor que el que suponen las contribuciones previstas determinadas a nivel nacional.” (Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, 2015)

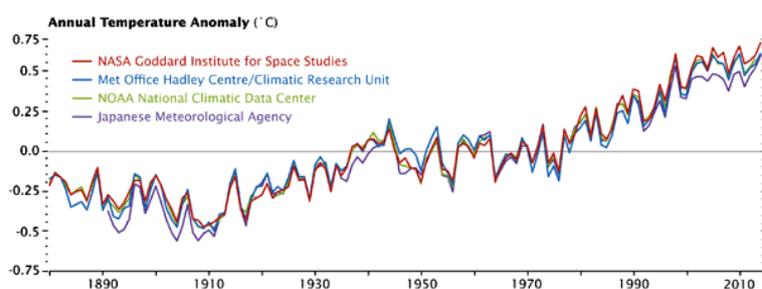


Figura I-1 :Anomalía de Temperaturas Medias Globales medidas desde el año 1880 hasta el 2014.

Fuente: <http://history.aip.org/climate/20ctrend.htm>

El 8 de noviembre de 2016, la “Organización Meteorológica Mundial” publica un análisis detallado del clima mundial durante el período comprendido entre 2011 y 2015. En él se destaca

dicho período como “...el quinquenio más cálido que se haya registrado, donde los efectos del cambio climático se han apreciado de forma sistemática a escala mundial desde el decenio de 1980, tales como: el aumento de la temperatura global, tanto en la tierra como en los océanos; el aumento del nivel del mar, y la fusión generalizada del hielo en los glaciares.” (Organización Meteorológica Mundial, 2016). El aumento de temperaturas desde el año 1880 hasta el 2014 puede verse reflejado en la **Figura I-1**.

El cambio climático ha intensificado los fenómenos extremos, como las olas de calor, el récord de precipitaciones y las crecidas de efectos perjudiciales. (Organización Meteorológica Mundial, 2016)

La Organización de las Naciones Unidas, mediante el grupo intergubernamental sobre el cambio climático, presenta un panorama basado en el calentamiento del planeta, donde la variación de temperatura es casi nula desde el principio del milenio

hasta el siglo XX. Lo anterior, aparenta contrastar con los resultados de distintas investigaciones que se analizan en el presente TEG, donde la temperatura aparenta ciclos de ascenso similar a los evidenciados en la actualidad, seguidos por períodos relacionados con lluvias torrenciales.

Tal como indica R. Garcia (2016) *“Nuestro planeta Tierra actúa como un ser vivo, se traslada, rota, cambia su aspecto exterior, se defiende del cambio de temperatura y reacciona para mantener la vida en la superficie terrestre mediante la adaptación de la capa protectora de la atmosfera. La historia geológica se basa en ciclos climáticos, los cuales se relacionan con la evolución humana hasta nuestros días. El planeta Tierra, constituye un sistema que ha evolucionado desde su origen a la actual superficie terrestre, con grandes cambios ambientales sobre los cuales se desarrolla la historia geológica del planeta. Los cambios climáticos han permitido mejorar las condiciones de hábitat con construcciones y procesos de siembra para la alimentación, así como su evolución con mejoras intelectuales con pasos agigantados en la tecnología. El planeta posee una superficie de 510.000.000 Km², constituida por continentes y mares, todo cubierto por una atmosfera protectora de más de 100 kilómetros de espesor, resultando espesores de más de 51.000.000.000 Km³, donde los gases deben de interactuar hacia un equilibrio del ciclo hidrológico, con variaciones climáticas de calor, frio y lluvias”*

1.3. Alcance y limitaciones

El alcance del presente TEG está encaminado a investigar a partir de la bibliografía existente, la relación entre la temperatura global alcanzada por la tierra en el año 1000 y las consecuencias que pudo ocasionar para los siglos siguientes, donde el calentamiento se convirtió en un proceso de enfriamiento, destacándose períodos de lluvia con graves consecuencias, relacionadas con problemas de estabilidad en las laderas.

Los resultados obtenidos serán extrapolados a las actuales condiciones climáticas, hacia la posible variación de la temperatura, asociada a períodos de lluvias y problemas de deslaves, con graves consecuencias a nivel mundial.

La limitación está condicionada a investigaciones existentes, las cuales serán relacionadas con una visión de condiciones geomorfológicas de conformación del

relieve, donde se encuentran desarrolladas algunas grandes ciudades del planeta, evaluando posibles amenazas que pudiesen ocurrir en un futuro cercano.

1.4. Objetivo General

Establecer la influencia de los cambios climáticos y la ocurrencia de lluvias torrenciales asociadas a deslizamientos o deslizamientos en laderas, de acuerdo a las variaciones de la temperatura en el milenio pasado, con referencia a las investigaciones existentes desde el año 1000 hasta nuestros días, relacionado con cambios topográficos y ocultamientos arqueológicos.

1.5. Objetivos Específicos

- Establecer en el milenio pasado con base a las investigaciones existentes, la relación entre los períodos de lluvias torrenciales y las condiciones climáticas con base a indicadores paleoclimáticos tales como núcleos de hielo, sedimentos, corales, polen fósil, espeleotemas, carbono 14 y O_{16} y O_{18} .
- Analizar las condiciones climáticas para desastres ocurridos por efectos de lluvias torrenciales asociados con deslizamientos, como el ocultamiento de monumentos arqueológicos actualmente en excavación.
- Determinar la relación entre los problemas de estabilidad de laderas y conformaciones topográficas a pie de monte, con base a las condiciones climáticas en el pasado.
- Inferir la posibilidad de futuros deslizamientos a nivel mundial hacia el año 2030, debido a cambios climáticos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

El enfoque en la investigación, y las conclusiones en éste Trabajo Especial de Grado estarán basados en información climatológica existente en los últimos mil años, así como la relación de lluvias torrenciales asociadas a deslaves que han podido causar modificaciones topográficas en terrenos sobre los cuales se han desarrollado distintas civilizaciones.

Dentro de las distintas ciencias que estudian a la Tierra, se encuentran la Climatología y la Meteorología, las cuales serán definidas a continuación:

“La climatología es una ciencia que estudia los fenómenos del clima, estableciendo su comportamiento por zonas, de acuerdo a las variaciones que se han presentado en el tiempo. Es decir, basado en lo ocurrido en el pasado, se conoce lo que ocurre en el presente y se prevé lo que sucederá en el futuro (...) la climatología tiende a ser confundida con la meteorología (Ciencia que estudia el tiempo atmosférico), porque ambas utilizan los mismos parámetros de evaluación pero la meteorología realiza previsiones a corto plazo o de manera inmediata, mientras que la finalidad de la climatología está en el estudio y previsiones del comportamiento del clima a futuro o largo plazo.” (Concepto Definición , 2016)

La meteorología en la actualidad cuenta con un aumento muy significativo en lo que respecta a éstos registros, y presenta previsiones muy acertadas y aceptadas en plazos cortos, días o semanas. En el año 1947 se creó la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.), actualmente con sede en Ginebra, Suiza. Esta cuenta con 185 miembros, y es la voz científica autorizada en lo que respecta al comportamiento de la atmósfera y el clima en las Naciones Unidas. Uno de sus principales programas, la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM), está encargada de recaudar y enviar información meteorológica a través de los enlaces de telecomunicación a cargo de los miembros que constan de “...10.000 estaciones de observación terrestre, 7.000 estaciones de buques y 300 boyas fondeadas y a la deriva, equipadas con estaciones

meteorológicas automáticas.” (Organización Meteorológica Mundial). De esta forma, la O.M.M. predice cambios climáticos, tormentas, y coordina la actividad para que dichos servicios lleguen con rapidez y precisión al usuario tanto privado como comercial. (Organización Meteorológica Mundial)

En las últimas décadas, la reconstrucción de la variación de temperatura en el pasado se basa en una serie de investigaciones con base de mediciones de Carbono 14, O_{16} y O_{18} en núcleos de hielo, sedimentos de lagos y océanos, polen fósil, anillos de árboles, espeleotemas y corales, los cuales permiten relacionar dicha variación de temperatura con las condiciones climáticas que ocurrieron. Ésta reconstrucción es el único medio científico por ahora, para determinar los patrones climáticos en épocas previas a que se iniciara el registro de mediciones de temperaturas.

2.1. Mediciones del Clima

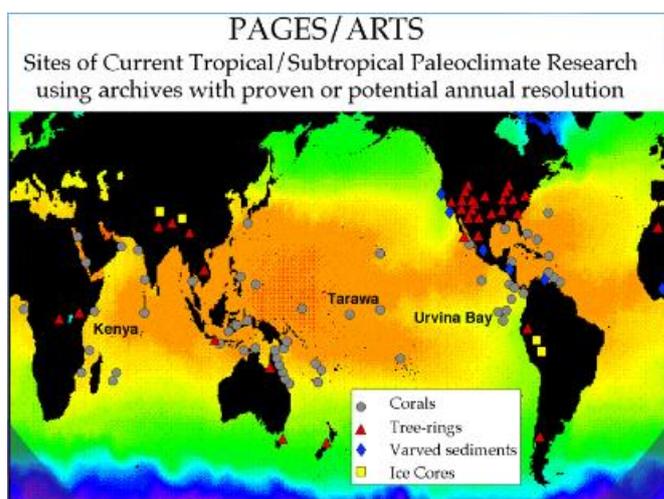


Figura II-1: Localización Mundial de Algunos Proxies.

Fuente: https://eo.ucar.edu/staff/rrussell/climate/paleoclimate/coral_reef_proxy_records.html

Con el pasar de los años, se han observado cambios climáticos en el planeta, cuyos eventos en el pasado han sido investigados por los expertos en climatología, mediante indicadores naturales, conocidos como Proxies. Éstos, son mediciones que se realizan en núcleos de hielo, anillos de árboles, núcleos de sedimentos, polen fósil, espeleotemas y corales principalmente. Estos indicadores ofrecen información sobre Oxígeno, CO₂, Carbono 14, etc., lo cuales son utilizados en la Paleoclimatología, y con dichos registros se ha logrado expandir el horizonte de conocimiento más allá de la época en la cual se comenzaron las mediciones de temperatura y el análisis del clima en el planeta. Además, esto ha permitido ampliar el conocimiento que se tenía en cuanto al desarrollo de las civilizaciones y la relación que tiene con los cambios climáticos y las consecuencias que ellos acarrear. (N.O.A.A., 2003)

La paleoclimatología utiliza estos Indicadores Naturales o Proxies de Temperatura. Estos son registros que se encuentran en la naturaleza como consecuencia de cambios climáticos y que han dejado una huella climática permitiendo analizar y comprender cómo ha variado el clima desde tiempos pasados hasta nuestros días.

2.2. Información obtenida por Proxies

2.2.1. Oxígeno

El oxígeno es una de las herramientas más importantes para descifrar el clima pasado. Este se presenta en variaciones pesadas y livianas mejor conocidas como isótopos, que sirven de gran ayuda para las investigaciones paleoclimatológicas. Como todos los elementos, el oxígeno, está conformado por un núcleo donde se encuentran protones y neutrones, acompañados por una nube de electrones. Todos los átomos de oxígeno tienen 8 protones, pero en su núcleo pueden contener 8, 9 o 10 neutrones. El oxígeno 16, se considera como “liviano”, con 8 protones y 8 neutrones. Este es el isótopo más común que se encuentra en la naturaleza. El oxígeno 18 se considera como “pesado” y cuenta con 8 protones y 10 neutrones. (N.A.S.A., 2005)

El oxígeno se clasifica de manera estándar según los científicos, de acuerdo a una rata de medición basada en un acumulado relativo del peso en el tipo oxígeno que se encuentra en sedimentos marinos, núcleos de hielo o fósiles, y comparándolo con el oxígeno “típico” universalmente. Estas muestras de oxígeno, se obtienen a profundidades comprendidas en un rango de 200 a 500 metros, sin embargo, en el caso de mediciones de núcleos de hielo, se han obtenido muestras donde las perforaciones llegan hasta los 3.000 metros. (N.A.S.A., 2005)

2.2.1.1. Variación en la concentración de oxígeno

El aire se va enfriando a medida que va ascendiendo hasta la atmósfera, o moviéndose hasta los polos. En ese momento, la humedad comienza a condensar y después se convierte en precipitaciones, donde inicialmente la lluvia contiene agua con una alta rata de oxígeno pesado O18, debido a que esas moléculas condensan más fácil que las de agua que contienen oxígeno liviano O16. Posteriormente, la humedad remanente en el aire se va agotando a medida que el oxígeno pesado se va moviendo hacia las regiones frías, por lo que a medida que dicha humedad logra llegar a latitudes altas, la lluvia o nieve que se encuentra presente, está compuesta por oxígeno cada vez más liviano O16. (N.A.S.A., 2005)

2.2.1.2. Concentración de Oxígeno en el Océano

Las aguas del océano ricas en oxígeno pesado O18, son aquellas que se desarrollaron durante las llamadas “épocas de hielo”, debido a las bajas temperaturas que se extendieron hasta el ecuador. El vapor del agua que contenía dicho oxígeno pesado precipitó de la atmósfera desde latitudes más bajas que en condiciones normales. Por otro lado, el vapor de agua que contenía oxígeno liviano se trasladó hacia los polos, donde eventualmente, se condensó y terminó descendiendo en las capas de hielo. (N.A.S.A., 2005)

El agua que permanece en el océano tiene un alto grado de concentración de oxígeno pesado, en comparación con las del resto del planeta tierra. En cambio, el oxígeno que se encuentra en las capas de hielo es de tipo liviano principalmente. De esta manera, los científicos han logrado ver qué parte de la tierra fue cubierta de hielo en algún tiempo pasado. (N.A.S.A., 2005)

En los océanos donde el agua es rica de oxígeno liviano, ocurre un proceso inverso, en donde suben las temperaturas y se derriten las capas de hielo haciendo que esta agua vierta hacia el océano. Esto trae como consecuencia que el agua le aporte oxígeno liviano al océano y reduzca su salinidad. Es por eso, que los científicos concluyen que los océanos con altos grados de concentración de oxígeno liviano y baja salinidad son indicadores de altas temperaturas que han ocurrido a lo largo del tiempo. (N.A.S.A., 2005)

2.2.1.3. Análisis del Oxígeno

Los investigadores, comienzan el análisis midiendo las concentraciones de oxígeno tanto O18 como O16 que se encuentran presentes en las muestras estudiadas. A partir de estas concentraciones, se determina una relación isotópica de oxígeno presente en el agua, que viene dada según la siguiente expresión:

$$R = \frac{\# \text{ de moléculas de tipo } {}^1\text{H}{}^16\text{O} \text{ ó } {}^1\text{H}_2{}^{18}\text{O}}{\# \text{ de moléculas de tipo } {}^1\text{H}_2{}^{16}\text{O}}$$

(Millarium, s.f.)

Posteriormente, utilizando esta relación se determina una desviación isotópica la cual utiliza un patrón de referencia denominado V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), esta desviación (δ) viene dada por la siguiente expresión:

$$\delta = \frac{R_{(Muestra)} - R_{(V-SMOW)}}{R_{(V-SMOW)}} \times 1000 \text{ (Millarium, s.f.)}$$

Donde:

$R_{V-SMOW} = 2005.20 \pm 0.43$ ppm (Despacho Internacional de Pesos y Medidas, 2005)

El patrón referencial (V-SMOW) se calcula a partir de agua cuidadosamente seleccionada la cual presenta baja concentración salina y de sólidos disueltos. Esta es producto de la mezcla cuidadosa en un laboratorio de varias muestras de aguas recolectadas en distintos océanos para que fuese lo más representativa posible. Lo antes mencionado, hace que esta sea utilizada para calibrar de manera estándar los termómetros que analizarán muestras de agua que se desee conocer su desviación isotópica de oxígeno. (Reid, 2015) (Agencia Internacional de Energía Atómica, 1990)

2.2.2. Carbono 14

El carbono 14 es un isótopo radioactivo de carbono, cuyo núcleo contiene 6 protones y 8 neutrones. La datación por carbono 14 o también llamada radiocarbono, es una herramienta utilizada para medir la antigüedad de restos animales o vegetales que se encuentren presentes en las muestras que van a ser analizadas. Mediante esta datación, se pueden lograr mediciones de tiempo comprendidas en un rango entre 500 hasta 50.000 años. Un aspecto a resaltar, es que las muestras de carbono 14 adheridas a los elementos a analizar, se reducen casi a la mitad una vez transcurridos 5700 años desde que la muestra tuvo vida, y es con estos restos con los cuales se realizan los análisis de antigüedad de los elementos. (Enciclopedia Britanica, s.f.) (Brain, s.f.)

2.2.2.1. Datación mediante Carbono 14

La ecuación utilizada para realizar la datación mediante Carbono 14 es la siguiente:

$$t = [\ln (N_f/N_o) / (-0.693)] \times t_{1/2} \text{ (Brain, s.f.)}$$

Dónde:

t: tiempo de antigüedad de la muestra en años.

N_f/N_o: proporción de Carbón 14 en la muestra evaluada.

t_{1/2}: 5700 años (Vida Media del Carbón 14).

2.3. Tipos de Proxies

2.3.1. Dendrocronología

Es la ciencia que se ocupa de la datación de los anillos de crecimiento de las plantas arbóreas y arbustivas leñosas. Esta analiza patrones espaciales y temporales, basada en el patrón de crecimiento de los anillos. Debido al estudio y análisis que se le realiza, es posible tener fechas aproximadas de la edad de la madera y de un modo menos preciso, la evolución del clima en el pasado. (López J., s.f.)

La dendrocronología se divide en varias disciplinas, en donde las más importantes se resaltan a continuación:

- **Dendroarqueología:** se encarga de obtener la fecha de formación de los anillos en la sección transversal del tronco de un árbol a partir del último anillo formado, cuya fecha se debe conocer. (López J., s.f.)
- **Dendrohidrología:** analiza mediante los anillos concéntricos de madera, datos para poder estudiar y fechar problemas hidrológicos. (López J., s.f.)
- **Dendrogeomorfología:** estudia procesos geomorfológicos de desplazamiento masivo y lento por gravedad de formaciones arcillosas u otros tipos de suelos debido a la plasticidad y fluidez que adquieren cuando absorben gran cantidad de agua. (López J., s.f.)
- **Dendroclimatología:** esta es la disciplina más desarrollada dentro de la dendrocronología, y tiene como objetivos estudiar y reconstruir el clima del pasado y del presente (paleoclimatología) mediante el estudio y análisis de anillos de árboles. (López J., s.f.)

2.3.2. Núcleos de Hielo

Los núcleos de hielo son cilindros obtenidos mediante perforaciones en una capa de hielo o un glaciar. El mayor registro que se ha obtenido de ellos viene principalmente de Antártica, Groenlandia y Perú. Estos son considerados como “maquinas del tiempo” debido a que permiten lograr el análisis del clima pasado.

Los núcleos presentan unas burbujas que permiten estudiar concentraciones antiguas de los gases de efecto invernadero en la atmósfera y poder así lograr una comparación con los gases existentes en nuestros días. (Riebeek, 2005)



Figura II-2: Perforación y Extracción de Núcleos de Hielo en Groenlandia

Fuente: Earth Observatory (NASA)

La medición del clima por medio de núcleos de hielos permite reconstruir temperaturas del pasado, cambios en las precipitaciones y ayuda a entender la relación existente entre la composición de la atmósfera y el cambio climático actual, poniéndolo en una perspectiva de 800 mil años que permitan investigar mediciones pasadas y cambios de magnitud. (Riebeek, 2005)

Los núcleos perforados van en un rango promedio de longitud de 100 a 200 metros que proporcionan información del clima de unos cientos de miles años atrás. El rango superior de longitud de los núcleos llega hasta los 3.050 metros, en donde para poder obtenerlos es necesario tener un campamento científico semipermanente y una campaña de estudio por más de un año. (Riebeek, 2005)

Grandes acumulaciones de nieve compactada, proporcionan una información más detallada del clima en el tiempo. Por ejemplo, las distintas capas derretidas de hielo, proporcionan información de las altas temperaturas que en su momento derritieron la nieve superficial y el agua percoló por dicha capa de nieve, formando unas capas sin burbujas en el núcleo. De esta manera, se pudo concluir el aumento de la temperatura en el siglo XX en la zona Noreste de la Península Antártica. (Alley, 2000)

Existen varios métodos para obtener la datación de los núcleos de hielo, entre ellas se encuentra el análisis por conteo de capas de hielo, conductividad eléctrica y el más utilizado ultimamente, la datación con Uranio-Torio ya que existen muchos núcleos que contienen polvo con restos de uranio. (Davies, 2015)

2.3.3. Corales

Los corales son duros esqueletos compuestos de carbonato de calcio, un mineral que extraen de las aguas del océano. Dicho mineral, contiene isótopos de oxígeno O16 y O18, así como trazas de otros minerales que son usados para determinar la temperatura

del agua en la que el coral analizado creció. Por otro lado, la datación de dicho coral se logra mediante la técnica de uranio-torio. (N.O.A.A., s.f.)

Los corales forman parte de los proxies que permiten analizar el clima y que juntos con sedimentos, fósiles, moluscos y otros existentes en los océanos, se convierten en instrumentos para reconocer cambios en la temperatura y el entorno marino. (N.O.A.A., s.f.)

Las ventajas notables que tiene este tipo de medición con corales es que estos reaccionan ante pequeños cambios de temperatura, se requiere solo una pequeña muestra del coral para su análisis y es un indicador natural sumamente preciso, tal que puede lograr diferenciar las distintas temperaturas en el agua, por distintos meses. (N.O.A.A., s.f.)

2.3.4. Polen Fósil

El polen tiene como significado “polvo muy fino”. Está formado por una o varias células vivas que están protegidas por envolturas o paredes inertes. Después de cierto tiempo, la parte viva del polen se muere y llega a un punto de volverse un fósil el cual es resistente a la degradación química y biológica. (EFE, 2013)

“La huella de polen fósil es una eficaz herramienta para descifrar detalles de la evolución del cambio climático a lo largo de la Historia de la Tierra, información imprescindible para aplicar modelos de predicción del clima.” (Sanchez Laso, 2013)

Los estudios de polen marino realizados sobre el mar Mediterráneo para ver la evolución de la desertización, ofrecen datos importantes sobre el plancton que a su vez informa sobre las distintas temperaturas del agua en el tiempo e igualmente la cantidad de CO₂ existente en la atmósfera. Esta información aportada es de gran importancia para el estudio paleoclimático. (EFE, 2013)

Análisis a granos de polen han aportado información clave para entender el cambio del clima y entre ella se encuentra que la agricultura y el nomadismo han sido agentes influyentes en el cambio de vegetación pero que, sin duda alguna, la evolución propia del planeta tierra ha sido más poderosa que la acción del hombre. (EFE, 2013)

2.3.5. Sedimentos

Los sedimentos obtenidos del océano, lagos y ríos, han sido utilizados para reconstruir los cambios paleoclimáticos en un rango de escalas de tiempo que van desde

cientos de años hasta millones de años. Por medio del estudio de estos, se puede analizar si existe presencia de fósiles específicos que indiquen patrones de cambio en el clima pasado. (Centro Científico Tecnológico Mendoza, s.f.)

Los sedimentos, específicamente los obtenidos en los lagos y océanos, son los más útiles junto a los núcleos de hielo para el análisis del cambio climático y esto se debe a que son muestras que generalmente no han sido perturbadas ya que la acción del hombre no ha llegado a dichos lugares de obtención. De este modo, los científicos pueden obtener una visión más clara y detallada de los distintos períodos del planeta Tierra. (I.P.C.C., s.f.)

Billones de toneladas de sedimentos se acumulan cada año en el fondo del océano, y esto puede ser un indicativo de los cambios climáticos que han ocurrido cerca de la superficie del océano. (N.O.A.A., s.f.)

Dichos registros, igualmente aportan información tal como las temperaturas superficiales del agua, la salinidad, la cantidad de oxígeno disuelto y disponibilidad de nutrientes en la misma. (N.O.A.A., s.f.)

2.3.6. Espeleotemas

Los espeleotemas son formaciones de minerales precipitados (calcita, aragonito (carbonato cálcico) y yeso (sulfato cálcico)) debido a el agua filtrada en cavernas kársticas que generan la disolución de dichos minerales hasta el punto en que la alteración por parte del dióxido de carbono que se encuentra presente provoca que precipiten, y que con el pasar del tiempo (miles de años), estos precipitados formen dichas columnas por la unión de las estalactitas y estalagmitas. (Gázquez, 2016)

Éstos contienen trazas de isótopos de oxígeno, carbono 14 y dióxido de carbono que aportan información de mucha ayuda para analizar las temperaturas, precipitaciones, cambios en la vegetación de épocas pasadas, y obtener la datación de la muestra analizada. (Gázquez, 2016)

Son sensibles al cambio climático, y es por ello que se utilizan para el análisis paleoclimático. La datación absoluta de los espeleotemas, se basa en la utilización de técnicas radiométricas que permiten ubicar la información paleoclimática en un marco temporal preciso. El método más utilizado actualmente, consiste en la obtención de la relación $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de las muestras seleccionadas. Este se basa en que, aún en

proporciones muy pequeñas, el uranio pasa como impureza a formar parte de la calcita de los espeleotemas, mientras que el torio no lo hace. A partir del momento de la precipitación de la calcita, la desintegración radioactiva del uranio comienza a producir torio, el isótopo hijo, cuya proporción, irá en aumento conforme al pasar del tiempo. (Grupo Espeleológico Edelweiss, 2004)

2.4. Investigaciones paleoclimáticas existentes

2.4.1. Michael Mann, Raymond Bradley y Malcom Hughes (1999)

El siguiente trabajo de investigación climática se basa en el análisis de proxies tales como anillos de árboles y núcleos de hielo, realizado para poder reconstruir la data climatológica del milenio pasado hasta finales del siglo XX en la zona del Hemisferio Norte de la Tierra. (Mann, Osborn, Bradley, Briffa, Hughes, & Jones, 1999)

Las conclusiones más importantes a las que llegaron Mann et al. fueron, que para el rango de años estudiados, iniciando desde el año 1400 y después reconstruido el estudio, iniciando desde el año 1000 hasta 1998, la década de los 90 ha sido la más calurosa de todas y 1998, el año más caluroso. Hubert Lamb, otro conocido investigador del cambio climático, especuló que hace 1.000 años, la tierra pasó por una época de temperaturas bastante elevadas, inclusive más altas a las registradas en la actualidad, a la que llamó “Período Cálido Medieval”. Sin embargo, Mann deja claro que las muestras obtenidas para dicha especulación fueron de Europa occidental para hacer

Tabla II-1: Data utilizada por Mann et al.

Fuente: Mann et al.

SERIES	LOC	y ₀	TYPE
ITRDB (PC #1)	N. Amer	1000	T. Ring width
ITRDB (PC #2)	N. Amer	1000	T. Ring width
ITRDB (PC #3)	N. Amer	1000	T. Ring width
Fennoscandia	68N 23E	500	T. Ring density
Polar Urals	67N 65E	914	T. Ring density
Tasmania	43S 148E	900	T. Ring width
N. Patagonia	38S 68W	869	T. Ring width
Morocco	33N 5W	984	T. Ring width
France	44N 7E	988	T. Ring width
Greenland stacked core	77N 60W	553	ice core $\delta^{18}O$
Quelccaya (2)	14S 71W	488	ice core $\delta^{18}O$
Quelccaya (2)	14S 71W	488	ice accum.

énfasis en que no se trataba de un fenómeno global. (Mann, Osborn, Bradley, Briffa, Hughes, & Jones, 1999)

La data y metodología utilizada fueron más de 100 proxies, sin embargo, los que se encuentran disponibles por Mann et al. son de 9 anillos de árboles

y 3 núcleos de hielo que se muestran a continuación en la **Tabla II-1**.

El gráfico concluyente al que pudieron llegar Mann et al., es el famoso “Palo de Hockey”. En él, se muestra como las temperaturas mantuvieron una tendencia algo estable desde el año 1000 al 1900 con variaciones de temperatura de $\pm 0.2^\circ C$ y el rango de ppm de CO₂ se encuentra entre 265 y 300 ppm. Hacia el año 2000, la temperatura

asciende 0.6° C por encima del promedio del período antes mencionado, y el CO₂ aumenta a 390 ppm. Este gráfico fue presentado por primera vez en el año 2001 por la I.P.C.C. y se muestra en el **Gráfico II-1**:

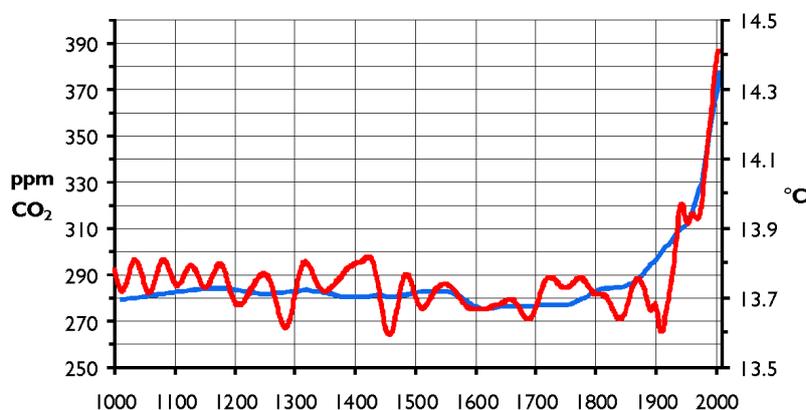


Gráfico II-1: Gráfico del Palo de Hockey, datos de Mann et al.
Fuente: I.P.C.C.

2.4.2. B. Christiansen y Ljungqvist (2012)

Los autores analizan distintas reconstrucciones de temperatura basadas en

Tabla II-2: Proxies utilizados por Christiansen y Ljungqvist

Fuente: *Elaboración Propia*

Proxies utilizados por B. Christiansen y F. Ljungqvist.	
Tipo de Proxy	Cantidad
Núcleos de Hielo	16
Anillos de Árboles	41
Sedimentos en Lagos	12
Sedimentos en Mar	5
Documentativo	8
Pólen	2
Espeleotemas	5
Multi-Proxies	2

compilaciones de proxies de distintos tipos, empezando por las de Groveman y Landsnerg (1979) e incrementándose la cantidad de reconstrucciones luego de las realizadas por Mann et al. en (1998) y (1999). Muchas de las reconstrucciones presentan una variación relativamente débil con pequeñas evidencias de anomalías de temperatura comparables con

las del siglo XX. La reconstrucción global de temperatura revela generalmente un régimen más cálido que persiste entre los años 800-1300 y generalmente un clima más frío entre el año 1300 hasta 1900 aproximadamente. Estos períodos paleoclimáticos son más conocidos como Período Cálido Medieval (MCA, por sus siglas en ingles) y la Pequeña Edad de Hielo (LIA, por sus siglas en inglés), respectivamente.

Muchos estudios se enfocan en comparar el calentamiento del MCA con el observado en las décadas recientes, con el fin de establecer que el calentamiento reciente no tiene precedente alguno en magnitud ni en rata durante los pasados milenios, dándole mucha menos importancia al LIA, a pesar de que la amplitud de su período más frío se presume que ocurrió en el siglo XVII. Esta es quizás “la mayor incertidumbre del clima en el milenio” (Fran et al. 2010) y un mejor entendimiento de la amplitud de

este enfriamiento es muy importante para mejorar nuestra comprensión de la sensibilidad climática.

Christiansen et al., investigaron esta subestimación con 7 métodos de reconstrucción usando un método de conjuntos de pseudo-proxy, el cual se basó en modelos de regresión lineal y sugiere el método LOCAL (LOC) basándose en el modelado directo de proxies, tomando en cuenta las temperaturas locales. Estas temperaturas locales reconstruidas son promediadas para obtener una gran escala (por ejemplo, la Hemisférica).

Se compilaron un grupo de 91 proxies del hemisferio norte extra-tropical, los cuales todos contienen registros de al menos 1.500 años, y 32 de ellos, de 2.000 años aproximadamente. El tipo de proxy, se especifica en la **Tabla II-2**.

Las ubicaciones geográficas de los 91 proxies de la tabla se encuentran en la **Figura II-3**.

3. La resolución (Anual, anual a decadal, decadal) se indica con los símbolos indicados.

Finalmente, con los datos obtenidos de dichos proxies los autores reconstruyeron las anomalías de temperaturas de los últimos dos milenios, tomando en cuenta una incertidumbre en los datos y se presentan en el **Gráfico II-2**. En este, se destaca un ascenso de la temperatura en el año 1000, similar al registrado para el año 2000.

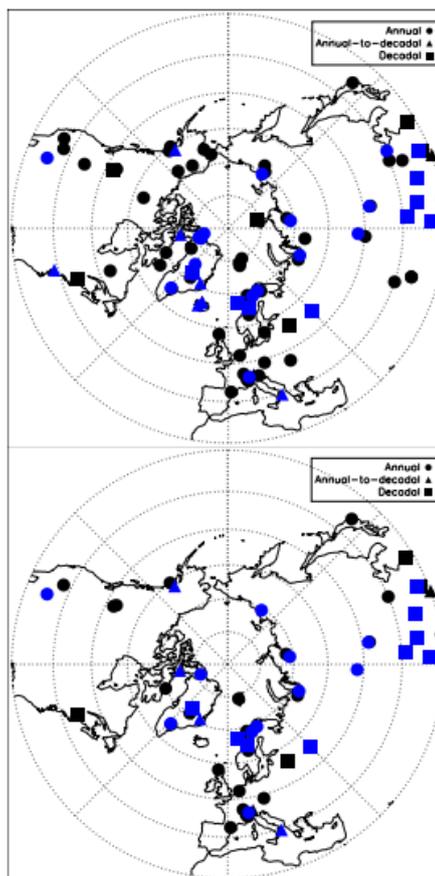


Figura II-3: Localización Geográfica de Proxies por tipo de resolución.

Fuente: Christiansen y Ljungqvist.

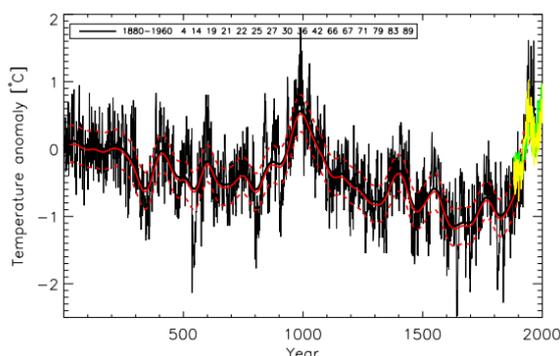


Gráfico II-2: Anomalías de temperatura de los últimos 2000 años.

Fuente: Christiansen y Ljungqvist.

2.4.3. Lonnie Thompson y Mary Davis (2012)

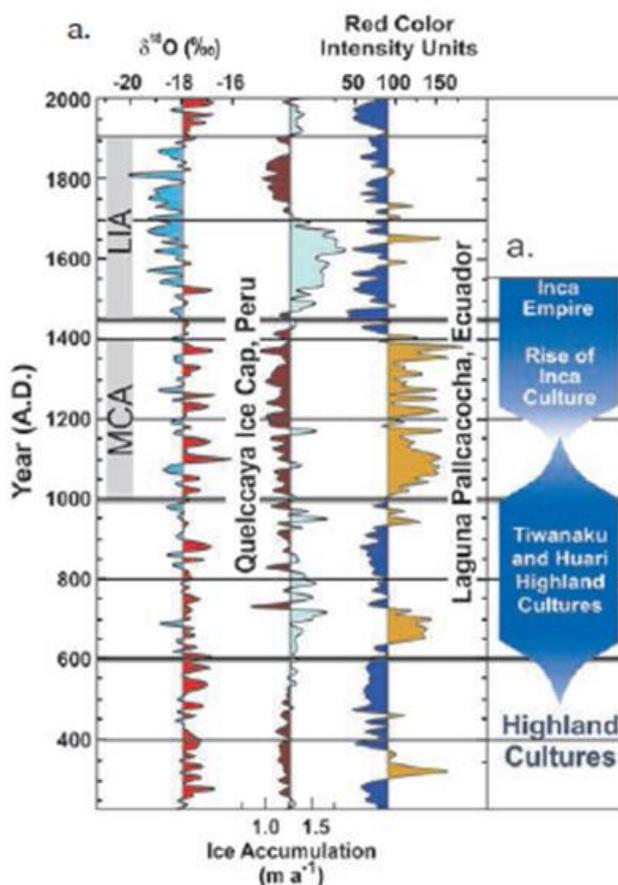


Gráfico II-3: Gráfico de la Desviación Isotópica de Oxígeno obtenida de Núcleos de Hielo en el glaciar de Quelccaya, Perú.

Fuente: Thompson, L y Davis, M.

más precisa de las concentraciones de polvo y de los isótopos de oxígeno ya que esta vez los cilindros llegaron más congelados al laboratorio para lograr así, un análisis más preciso.

Thompson y Davis concluyeron que, el alcance de registro que se pudo obtener de los núcleos de hielo fue de 1.800 años. Del **GráficoII-3** se denomina la Época Cálida Medieval (MCA), comprendida entre los años 1000 y 1400, y donde se registraron las temperaturas más calientes del milenio, conjuntamente con la mayor aridez global. Es por esto, que Thompson dice que entre los años 1180 a 1450, se tienen registros de bajas precipitaciones.

Posteriormente, vino la llamada “Pequeña Época de Hielo”, en donde se obtuvo gran información de oxígeno 18 de los núcleos obtenidos dando por entendido que existió un registro de bajas temperaturas entre los años 1450 y 1880. Las precipitaciones

Thompson es un profesor e investigador paleoclimático. Su trabajo más resaltante respecto a esto se trata del estudio de núcleos de hielo con un registro que tiene como alcance 1800 años aproximadamente. Estos, fueron perforados en el glaciar tropical de Quelccaya, ubicado en el altiplano sur de Perú, y es uno de los campos más extensos en el planeta para la obtención de núcleos de hielo.

Desde 1983, Thompson lleva estudiando dichos núcleos en este lugar y los estudios más recientes son de núcleos perforados en el año 2011, en donde se pudo obtener información

aumentaron abruptamente entre los años 1450 y 1700 para volver a descender desde el año 1700 hasta 1880.

A continuación, se presenta el gráfico de los registros analizados por Thompson y Davis, mostrándose la variación isotópica en el último milenio tal como se explicó en el apartado 2.2.1.3.

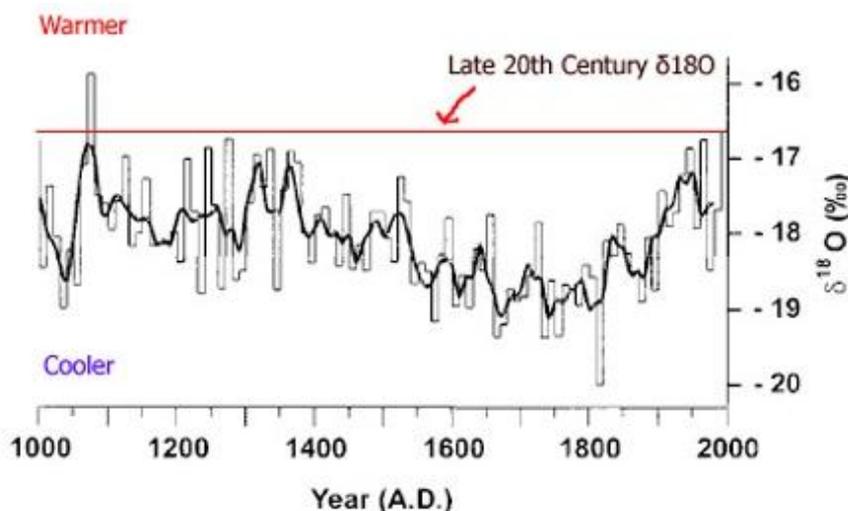


Gráfico II-4: Gráfico representativo de Desviaciones Isotópicas de Oxígeno desde el año 1000 al 2000.

Fuente: Thompson, L y Davis, M.

2.4.4. Craig Loehle. (2008)

Craig Loehle realiza su primer análisis paleoclimático en el año 2007, utilizando proxies como polen, sedimentos en lagos y ríos, e incluso el espesor de la caverna Shihua ubicada en Beijing, China. Durante ese año se encontraron algunos errores en

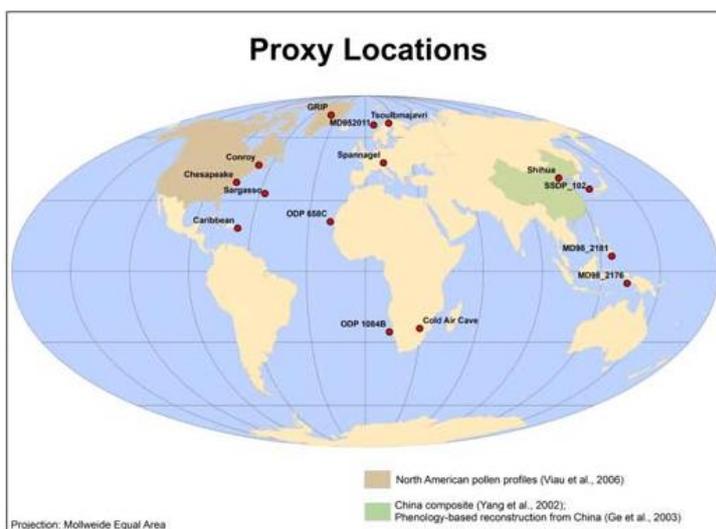


Figura II-4: Localización Geográfica de Proxies utilizados por Loehle.

Fuente: Martin, Mike.

dichos proxies, por lo que en el año 2008 se genera una corrección a la cual se le añadió un intervalo de confianza, para una evaluación más robusta.

Se obtuvieron datos que habían sido previamente calibrados por sus respectivos autores, sin embargo, se utilizaron únicamente los proxies que tenían al menos 20 fechas sobre los 2.000 años en

estudio.

Los proxies que finalmente se utilizan para la realización de dicho estudio incluyen análisis de polen, corales y sedimentos en lagos y mares. Se muestra su ubicación geográfica en la **Figura N°II-4**.

Finalmente C. Loehle presenta el siguiente grafico corregido en el 2008 donde destaca un ascenso de temperaturas entre los años 800 y 1000, y un descenso de las mismas donde se marca la Pequeña Edad de Hielo entre los años 1400 y 1800.

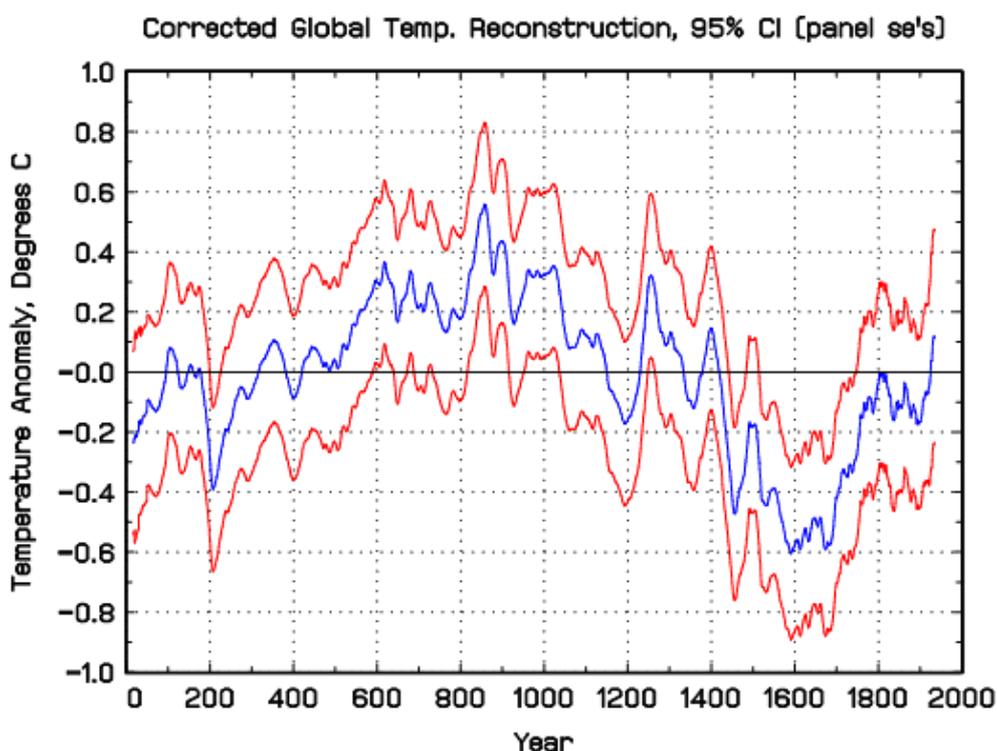


Gráfico II-5: Gráfico de Anomalía de Temperaturas (°C) entre el año 0 y 2000.

Fuente: Loehle, Craig.

2.4.5. Calixto Ferreras Fernández (2005)

La investigación realizada por Calixto Ferreras Fernández (2005), 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. (Ferreras, 2005)

Para el comienzo del siglo VII, las temperaturas empiezan a aumentar progresivamente hasta el siglo X, donde se comienza a sentir una suavización climática. (Ferreras, 2005)

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 impropiedad. 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. (Ferrerías, 2005)

Para el siglo XII y siglo XIII, las lluvias comenzaron a intensificarse y se tienen registros de crecidas e inundaciones en los ríos de la vertiente Atlántica, al igual que desbordamientos en los ríos Tajo y Guadalquivir dejando un saldo de 65.000 muertos.

La abundancia de pastos favoreció a la cría del ganado lanar que fue de gran importancia económica, política y aún ecológica en España en los siglos inmediatos. Igualmente, favoreció en el comercio y la industria de otros países de Europa. (Ferrerías, 2005)

Entre los siglos XII y XIV, se registraron altas índices de pluviosidad y calentamiento general que repercutieron favorablemente en los cultivos. Al final de este período, es cuando posiblemente se cree que las temperaturas alcanzaron su punto máximo. (Ferrerías, 2005)

A partir del siglo XV y hasta el siglo XVIII, en la Europa meridional el episodio cálido se manifestó principalmente en las precipitaciones, que al parecer fueron en término general, más altas que las que se conocen en nuestros días. Además, predominó un tiempo frío que ha venido denominándose la “Pequeña Edad Glacial”. En este período, crecieron considerablemente los hielos árticos, así como los de Islandia (Tierra del Hielo) y Groenlandia (Tierra Verde). Se establece que la Pequeña Edad Glacial, duró unos 150 años, entre los años 1550 y 1700 y se indica que las condiciones más rigurosas tuvieron lugar en Inglaterra, estimándose que en el Atlántico norte, en latitudes superiores a los 50° N, la temperatura se encontraba en un rango entre 1 y 3 grados por debajo de las registradas actualmente, por lo cual, los hielos oceánicos debieron encontrarse en latitudes más bajas que los que se encuentran en la actualidad. (Ferrerías, 2005)

La descripción del análisis de Ferrerías se muestra representada en el **Gráfico II-6** mostrado a continuación:

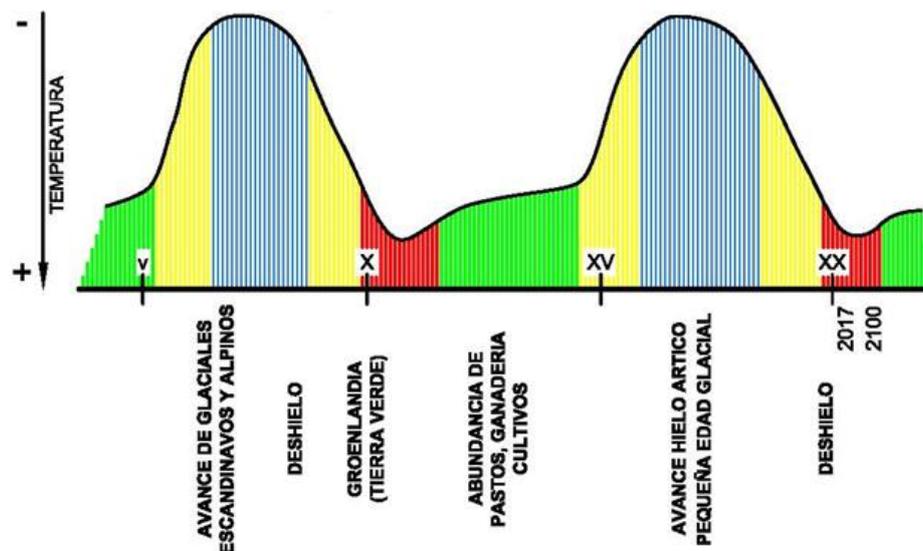


Gráfico II-6: Reconstrucción Gráfica de la Historia del Clima Mediterráneo.
(Ferrerías Fernández, Calixto)

Fuente: Elaboración Propia.

2.4.6. Richard Alley (2000)

El geólogo Richard Alley (2000) 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 basados en núcleos de hielo extraídos de Groenlandia y la historia climática de los últimos 10.700 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.

La publicación destaca que han existido cambios climáticos abruptos en los últimos 10.700 años, analizando en la variación de temperatura, los efectos que generan los gases de efecto invernadero sobre el calentamiento global. R. Alley hace énfasis en que una parte de la sociedad científica se encuentra “preocupada” por los aumentos de la temperatura que se vienen registrando desde hace unos cuantos años para acá y formula la siguiente pregunta con un tono reflexivo: *“¿Cuán caliente es muy caliente?”*. Es por esto, que aclara que la tierra en toda su historia, ha presentado de manera normal cambios climáticos y que períodos de alta estabilidad climática son poco usuales en ella.

Otro punto interesante que destaca es *“...las personas tienden a tener un concepción de que el clima de la tierra varía de caliente a frío o viceversa en cuestión de siglos, cuando en realidad puede ocurrir en tan solo un año”*(Alley, 2000). Igualmente, dice que *“...la Tierra si no es afectada por ningún agente externo puede*

presentar cierta estabilidad, pero, si esta sufre de ciertas afectaciones por muy pequeñas que sean, pueden generarse grandes cambios climáticos debido a que el sistema como ella funciona tiende a amplificar dichas afectaciones.”(Alley, 2000). Debido a esto, concluye que los gases de efecto invernadero han podido activar este brusco cambio climático que ha venido sufriendo la tierra durante los últimos años, pero insistiendo en que ya existen precedentes de dichos cambios e incluso de mayor magnitud que los que se han podido observar en nuestros tiempos y que ningún efecto generado por la era industrial de los últimos cientos de años puede ser comparada.

Para tratar de “normalizar” el clima terrestre, (Alley, 2000) sugiere que se continúe regulando las emisiones de gases de efecto invernadero para así dejar de tener cambios bruscos como los que se observan, y de este modo se estaría minimizando la estabilidad anómala climática que ha sufrido la tierra desde la era industrial hasta nuestros días.

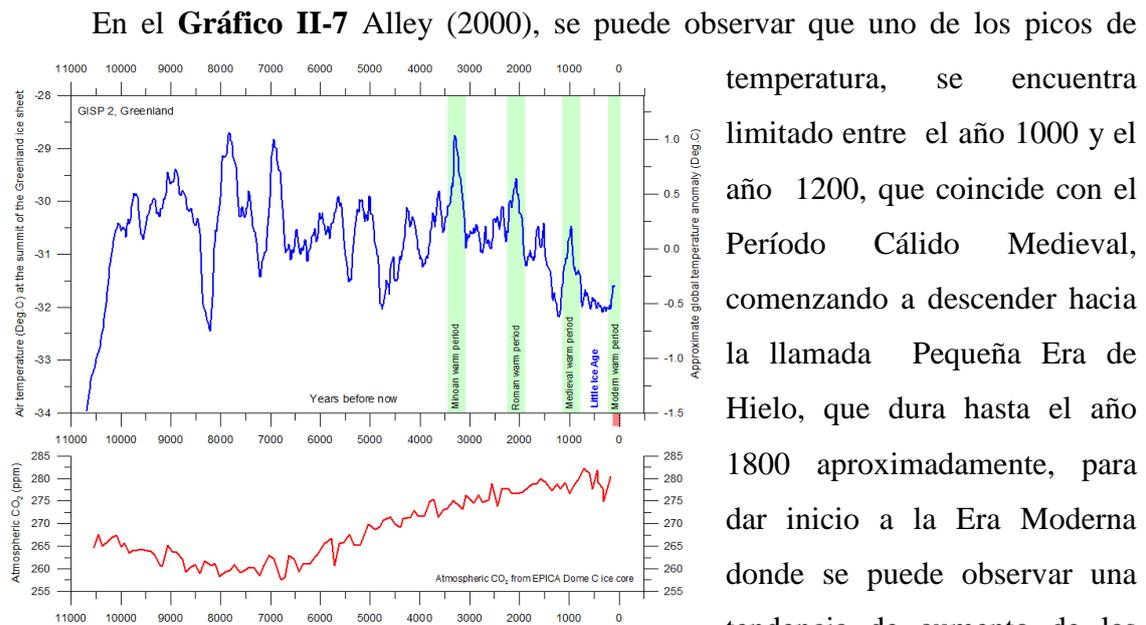


Gráfico II-7: Reconstrucción de Temperatura de 10700 años Antes del Presente, según el Glaciar GISP2, en Groenlandia
Fuente: Alley, Richard. (GISP2).

De acuerdo a la investigación de Alley, el pico de temperatura en el inicio del año 1000, puede ser similar al pico existente que registra la Tierra en nuestros días, existiendo precedentes en milenios anteriores, de inclusive mayor magnitud de temperaturas.

2.4.7. Christopher Moy (2002).

La investigación de Moy se basó en el estudio de sedimentos en la laguna Pallcacocha (Ecuador), localizada en la Cordillera Blanca a una elevación de 4.562 msnm, bajo las cumbres del Palcaraju (6.274 m) y del Pucaranra (6.156 m). La laguna es una de varias lagunas que suministran agua a la ciudad Huaraz, 23 km al suroeste. (Moy, 2002)

Como desastre histórico, en la mañana del 13 de diciembre de 1941, un enorme pedazo del glaciar adyacente cayó a la laguna Pallcacocha generando una ola y causando la ruptura del dique morrénico que contenía a la laguna. El agua se desbordó hacia el Valle Cojup, llevando bloques de hielo, rocas grandes y barro líquido que llegó a Huaraz, enterrando partes de la ciudad y causando la muerte de aproximadamente 1.800 habitantes. (Moy, 2002)

Los núcleos de sedimentos en la laguna fueron analizados mediante un espectro, con intensidad de color rojo, los cuales relacionan los eventos ENSO (Fenómenos de El Niño y La Niña) desde hace 10.700 años. Los sedimentos provienen de la cuenca que limita la laguna, controlados por rocas ígneas, Andesita e Ignimbrita, cuyo producto de meteorización debe generar suelos arcillosos, transportados mediante procesos de

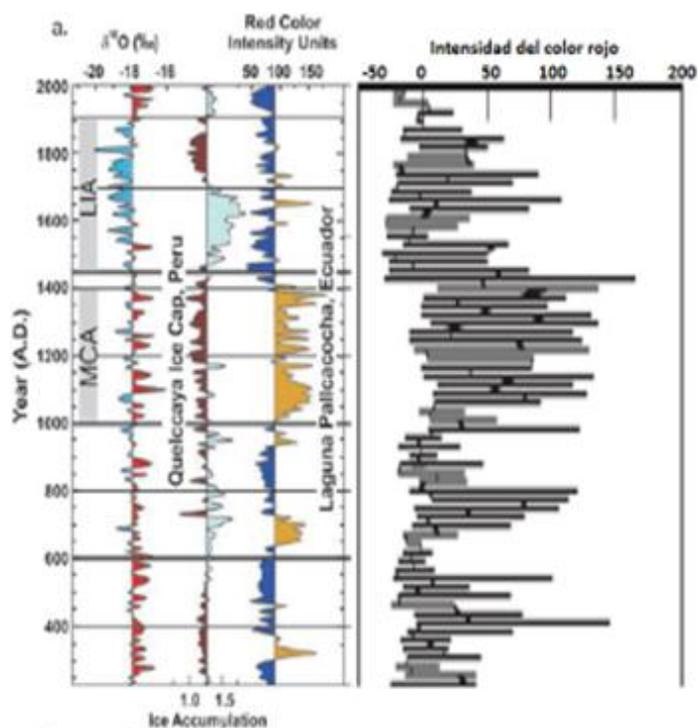


Gráfico II-8: Comparación entre Thompson, L. y Moy, Christopher.

Fuente: Thompson, L. (Izq.) y Moy, C. (Der.)

erosión por agua de lluvia y depositado por la sedimentación en presencia de agua de la laguna. Los depósitos, debido a su deposición aluvial, se encuentran en forma de láminas clásticas inorgánicas de colores claros, cuyas hipótesis de condiciones climáticas de sedimentación se basaron en los últimos 200 años, lo que generalmente permiten ser correlacionadas con conocidos eventos de El Niño en registros

instrumentales e históricos. (Moy, 2002)

Se propuso que las cientos de láminas clásticas inorgánicas de color claro en el sedimento, probablemente fueron depositadas durante los episodios de la deposición aluvial en la cuenca de drenaje de la laguna Pallcacocha. Esta hipótesis se basó en la observación de las láminas depositadas. Estos eventos aumentan el caudal y la carga de sedimentos en una sola corriente que entra en la laguna Pallcacocha, desde donde se depositan las láminas inorgánicas expuestas en muestras de núcleos sedimentarios. (Moy, 2002)

Los resultados de los estudios de Thompson a base de núcleos de hielo en el glaciar de Quelccaya, localizado en el altiplano de Perú, muestran una correlación con los estudios de Moy, estando resumida en el **Gráfico II-8**, compuesta por los resultados de ambos investigadores.

De acuerdo a R. García, “...*los aportes de sedimento hacia la laguna deben de estar relacionados con lluvias de mayor frecuencia y duración, que aparenta mayor intensidad al comienzo del llamado Período Cálido Medieval, lo cual contrasta en el gráfico con la Pequeña Edad de Hielo. Todo lo anterior podría tener relación con los fenómenos de El Niño y La Niña (eventos ENSO).*”

2.5. Deslaves y Conformación Topográfica

2.5.1. Definición de Deslave

Los deslaves son problemas de estabilidad en las laderas, originados por pérdida de resistencia de los materiales, debido a efectos de saturación. Dichos materiales en zonas montañosas son los resultados de la degradación que presentan las masas de roca hacia la superficie, producto de efectos químicos y físicos, asociados al llamado perfil de meteorización. “*En dicho perfil la resistencia disminuye hacia la superficie del terreno, que sumado a los efectos de saturación en períodos de lluvias de mayor duración e intensidad, originan problemas de estabilidad, caracterizado por el movimiento ladera abajo de grandes aporte de suelos y fragmentos de rocas, saturados, que tienden a ocupar los cauces de quebradas y ríos, transportando grandes volúmenes de material, los cuales son depositados ladera abajo en general, conformando superficies de menor pendiente.*”(García, 2015)

El mayor ejemplo de deslaves, se tiene recientemente en la tragedia de Vargas 1999, Venezuela. Los desastres y pérdidas que ocurrieron se pueden comparar con los

del terremoto de Japón 2011, en el sector de Tohoku a unos 300 kilómetros de Tokio, de magnitud 9.1 según la escala de Richter. (Tragedia de Vargas Blog, 2011) (El País, 2011)

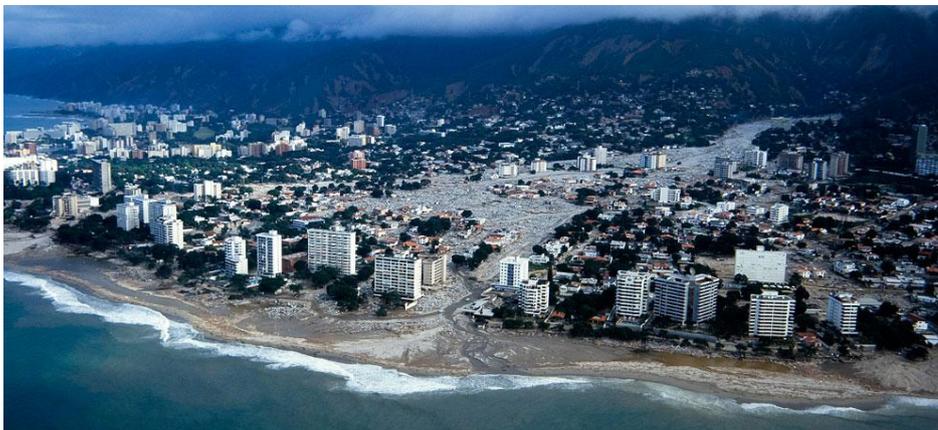


Figura II-5: Deslave de Vargas 1999.

Fuente: <http://confirmado.com.ve/dolor-venezolano-a-17-anos-de-la-tragedia-de-vargas/>



Figura II-6: Comparación Gráfica de la Cuenca de Caraballeda.

Fuente: Google Earth.

En las **Figura N°II-6** se muestra una vista de la cuenca de la quebrada Caraballeda, después de ocurrida la tragedia, destacándose el gran número de cicatrices producto de deslizamientos, laderas desprovistas de vegetación y observándose aguas abajo, la ampliación del cono coluvial donde se encuentra la parroquia de Caraballeda. Para la

imagen del año 2014, las cicatrices habían desaparecido. Igualmente, se puede observar en la **Figura N°II-5** el gran aporte de sedimentos que cubrieron el área poblada.

Los deslizamientos ocurren cuando una masa de tierra, rocas o escombros se mueve por una pendiente hacia abajo, saturados de agua que tienden a fluir hacia canales, logrando desplazar cualquier cosa a su paso. Son comunes en las líneas costeras, en las costas y mar adentro, donde llegan a alcanzar altas velocidades debido a las fuerzas de gravedad.

Son altamente peligrosos y pueden convertirse en verdaderos desastres naturales cuando sepultan poblaciones bajo toneladas de tierra. Son muy comunes y en algunas regiones causan más problemas que las tormentas o los terremotos. Por ejemplo, en

Estados Unidos ocasionan pérdidas de alrededor de 1 a 3.5 billones de dólares en daños y perjuicios y aproximadamente de 25 a 50 muertos por año. (Geoenciclopedia, s.f.)

Desafortunadamente, no hay manera de evitar los deslaves, puesto que obedecen a fuerzas físicas de la naturaleza, pero sí se pueden prevenir los daños si se aplican prácticas correctas de ingeniería, de investigación geológica y de protección civil.

Los deslaves suelen ser muy aparatosos, en el sentido estricto de la palabra. Aguas abajo, la tierra recoge árboles, autos y construcciones, ocasionando severos daños económicos. Los puentes quedan bloqueados, se fragmentan las líneas eléctricas y las poblaciones quedan incomunicadas.

En el mejor de los casos, los daños económicos son mayores que las vidas que un deslave puede cobrar. Las personas que sobreviven a un desastre de gran magnitud como este, se ven vulnerables ante los riesgos posteriores de su ocurrencia ya que pueden afectar la salud de la población debido a enfermedades generadas por la mezcla de lodos y residuos.

2.5.2. Causas de los deslaves

La resistencia en las distintas zonas de meteorización de un macizo rocoso o secuencia de capas de suelos están unidas por variadas fuerzas, y una de ellas es la fricción, una fuerza de resistencia al deslizamiento entre dos superficies, cuya inclinación e incremento por efecto del peso por saturación con el agua, pueden iniciar un deslave:

- Lluvias excesivas o intensas. Las zonas de meteorización más superficiales, son altamente susceptibles a los deslaves, que pueden ocurrir después de lluvias continuas con saturación de las rocas en distintos grados de meteorización.
- Agua de deshielo en zonas de bajas temperaturas que debilita el suelo.
- Erosión causada por corrientes de agua, la cual se intensifica con sedimentos en suspensión o arrastre de fondo.
- Modificaciones en los niveles freáticos, que originan pérdida de resistencia por efectos de saturación.
- Cambios en el nivel del agua.

(Geoenciclopedia, s.f.)

La velocidad del flujo depende de la cantidad de agua, el volumen de la tierra, el ángulo de inclinación de la ladera y el tipo de material involucrado (suelos y fragmentos o bloques de roca).

Algunas zonas son más vulnerables que otras. Por lo general, aquellas cuya superficie ha sido modificada por las acciones humanas o por los incendios forestales u otros desastres naturales, tienen más probabilidades de sufrir deslizamientos de tierra, así como aquellas pendientes modificadas para la construcción de edificios y las zonas escarpadas situadas en la parte inferior de las montañas o cañones.

Se puede decir que las causas de los deslaves son fenómenos que se originan por efectos de saturación, relacionados con las condiciones geológicas, facilitados por actividades antropogénicas (derivadas de las actividades humanas).

2.5.3. Formas Topográficas

Los efectos de inestabilidad en las laderas de una cuenca, se manifiestan por formas topográficas en anfiteatros, resultados de la pérdida de resistencia de los materiales por saturación. Las afectaciones superficiales constituyen los llamados deslaves y cuando poseen mayor profundidad, pueden ser asignados como deslizamientos. Los resultados en un relieve



Figura II-7: Anfiteatro Topográfico en Pisac, Perú.

Fuente: Google Maps.

afectado por deslizamientos, se pueden observar con las curvas de nivel que presentan formas onduladas convexas, tal como se muestra en la **Figura N°II-8**. Como ejemplo de anfiteatros topográficos, se tienen en Perú en la zona de Pisac, donde las antiguas terrazas de los cultivos Incas se encuentran ubicadas en zonas de anfiteatro, tal como se muestra en la **Figura N°II-7**, cuya formación topográfica para cultivos en terrazas, fue posterior al problema de estabilidad, posiblemente relacionado con un fuerte período de lluvias y con laderas con mayor desarrollo del perfil de meteorización.

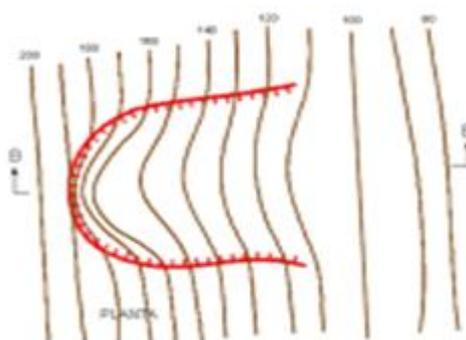


Figura II-8: Curvas de Nivel de un Anfiteatro topográfico

Fuente: García, Roque.

Los materiales transportados ladera

abajo se suelen depositar por disminución de la velocidad del agua, formando terrenos de menor pendiente, como son amplias planicies coluviales y aluviales, donde se han facilitado el desarrollo de las civilizaciones, ocupadas en la actualidad por amplias áreas urbanizadas. (García, 2017)

2.6. Las lluvias y su intensidad

2.6.1. Lluvias

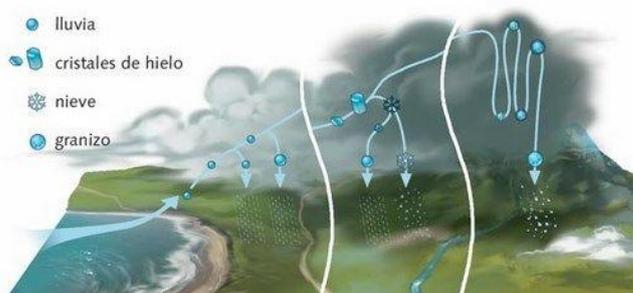


Figura II-9: Definición Gráfica de lluvia, nieve y granizo.

Fuente:

<http://www.areaciencias.com/meteorologia/imagenes/lluvia-nieve-granizo.jpg>

Según la Organización Meteorológica Mundial, la lluvia, “es la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor de 0,5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas. Si no alcanza la superficie terrestre, no sería lluvia sino virga y si el diámetro es menor sería llovizna. La lluvia se mide en milímetros al año, menos de 200 son pocas, entre 200 y 500 son escasas, entre 500 y 1.000 son normales, entre 1.000 y 2.000 son abundantes y más de 2.000 son muchas. La lluvia depende de tres factores: la presión atmosférica, la temperatura y, especialmente, la humedad atmosférica.”

Además de la lluvia, el agua puede volver a la tierra en otras dos formas distintas, nieve o granizo. La primera, ocurre cuando las temperaturas son inferiores a los 0°C, hay precipitación y humedad, mientras que la segunda es la precipitación de granos de hielo formados dentro de la nube, en ambientes con temperaturas más altas. (Area Ciencias, s.f.)

La lluvia se mide en milímetros de agua, o litros precipitados sobre un m², es decir, recogiendo el agua que precipita en una superficie plana, un milímetro medido de agua, equivale a un litro por m². (Area Ciencias, s.f.)

Según Chow et al., la intensidad de la lluvia se define como “la tasa temporal de precipitación, o como la profundidad por unidad de tiempo (mm/h)” y esta se expresa como:

$$i = \frac{P}{T}$$

Donde, P es la profundidad de la lluvia en mm o pulgadas, y T, el tiempo de duración de dicha lluvia en horas usualmente.

En la **Tabla II-3**, se puede observar la clasificación del tipo de precipitación según su intensidad representada en mm/h.

Tabla II-3: Tipo de precipitación.

Fuente:

<http://www.meteolabios.es/ins/30fE1004Edb89E9462c6>

Tabla correspondencia intensidad de precipitación		
Color	Intens. (mm/h)*	Tipo de precipitación
	mayor a 250	Granizo de gran tamaño
	mayor a 250	Torrencial y granizo
	100 a 250	Torrencial y prob. granizo
	40 a 100	Lluvia muy fuerte a torrencial
	16 a 40	Lluvia fuerte
	6'5 a 16	Lluvia moderada
	2'5 a 6'5	Lluvia ligera
	1 a 2'5	Lluvia débil
	0'4 a 1	Lluvia muy débil
	0'1 a 0'4	Traza de precipitación

* 1 mm de precipitación es equivalente a 1 (l/m²)

En la **Tabla II-4** se encuentran las lluvias ocurridas durante el desastre de Vargas los días 14, 15 y 16 de Diciembre 1999, destacándose 120, 380 y 410 mm/día respectivamente, en la estación Maiquetía.

Alejandro Muguerza (2009) indica que previo a los días del desastre “...los efectos de este fenómeno fueron precipitaciones permanentes, transformando nubosidad de mediano desarrollo en nubosidad de gran desarrollo vertical asociada con chaparrones y tormentas eléctricas... posteriormente para los días 15 y 16 de diciembre, cuando se producen las lluvias de mayor intensidad y duración, las nubes parecen provenir del suroeste, dando origen a divergencia y convirtiendo las nubes hacia la Cordillera de la Costa en nubes de mal tiempo en prácticamente toda la extensión” (Muguerza Armada, 1999). Lo descrito anteriormente, es algo típico de lluvias orográficas.

En general previo al desastre en las laderas, estas se saturaron, originando los deslaves, siendo las lluvias de los días 15 y 16, el detonante de los grandes aportes de sedimentos.

Tabla II-4: Láminas de lluvia comprendidas para el 14,15 y 16 de diciembre de 1999 (en mm) en la estación Maiquetía.

Elaboración: Ochoa, Javier. Fuente: (García, L.F., 2000)

Día	Lámina (mm)
14	120.0
15	380.7
16	410.4

2.6.2. Origen de la lluvia

La lluvia puede originarse en diferentes tipos de nubes, generalmente *nimbostratus* y *cumulonimbus*, así como en diferentes sistemas organizados de células convectivas. La persistencia de una lluvia abundante requiere que las capas de nubes se renueven continuamente por un movimiento de ascenso de las más inferiores que las sitúe en condiciones propicias para que se produzca la lluvia. Todo volumen de aire que se eleva se dilata y, por consiguiente, se enfría. La ascensión de las masas de dicho aire puede estar ligada a diversas causas, que dan lugar a diversos tipos de lluvia. (Meteolobios, s.f.)

2.6.3. Tipos de lluvia

2.6.3.1. Lluvia de Convección

Es una lluvia que se produce por el ascenso de una columna de aire caliente. En el ascenso, el aire se enfría hasta alcanzar la misma temperatura que el entorno, y desciende. En el descenso, vuelve a calentarse hasta alcanzar la temperatura necesaria para volver a ascender. Este ciclo de ascenso y descenso, provoca corrientes muy potentes que mantienen en el aire grande gotas de agua que llegan inclusive a congelarse a cierta altura. Estas, son características de latitudes cálidas y de las tormentas de verano en zonas templadas. (Geoambiental, 2015)

2.6.3.2. Lluvias Orográficas

Es el tipo de lluvia producida por el ascenso de una columna de aire húmedo al encontrarse con un obstáculo orográfico, como una montaña. En su ascenso el aire se enfría hasta alcanzar el punto de saturación del vapor de agua, y una humedad relativa del 100% que origina dicha lluvia. (Ecured, s.f.)

2.6.3.3. Lluvias Ciclónicas

Está asociada a los frentes o superficies de contacto entre masas de aire cálido y frío, y las borrascas o ciclones que en ellos se generan. La naturaleza de éstas dependerá del contenido de humedad del aire y de las características del área frontal, pero generalmente son lluvias continuas sobre superficies muy extensas en la dirección de avance del frente. (Geoambiental, 2015)

2.7. Fenómeno de El Niño y La Niña

Son fenómenos climáticos que ocurren cada cierta cantidad de años. Comienzan cuando las aguas superficiales del Pacífico Ecuatorial se vuelven más calientes ((El Niño), o frías (La Niña)) que lo normal, frente a las costas de Perú y Ecuador (Océano Pacífico). Estos pueden provocar inundaciones, sequías, incendios forestales y otros fenómenos extremos en varias partes del mundo. (Climate Prediction Center, 2012)

El fenómeno de El Niño, es característico por ocasionar inundaciones y deslizamientos de tierra. Este, además modifica el patrón normal de las condiciones meteorológicas e incide en la ocurrencia de tormentas, tornados y huracanes. (Climate Prediction Center, 2012)

El Niño y La Niña, representan extremos opuestos en la ocurrencia natural de un ciclo climático al que se le llamó E.N.S.O. (El Niño Southern Oscillation). Estos extremos opuestos entre el uno y el otro, van desde la temperatura superficial del océano Pacífico en la región este y centro-este, lluvias convectivas, presión de aire en la superficie y circulación en la atmósfera. Todos estos ocurren desde el trópico de Indonesia hasta Suramérica. (Climate Prediction Center, 2012)

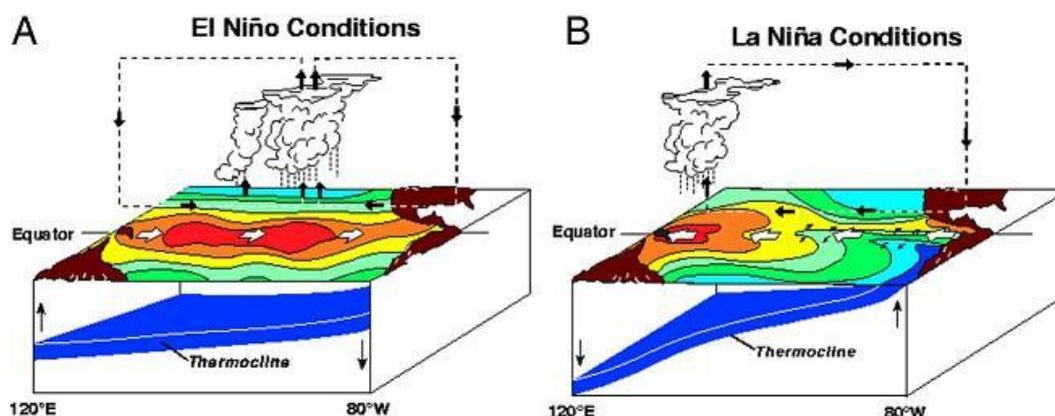


Figura II-10: Condiciones El niño y la Niña.

Fuente: <http://www.pnas.org/content/106/49/20578/F3.large.jpg>

Durante la ocurrencia de El Niño, los vientos ecuatoriales del este disminuyen, resultando en un aumento de las temperaturas del océano y generando lluvias tropicales convectivas, tal como se puede observar en la **Figura II-10**. Si El Niño llega a niveles extremos, las temperaturas elevadas cubrirían completamente la mitad este del Océano Pacífico Ecuatorial. (Climate Prediction Center, 2012)

Durante la ocurrencia de La Niña, los vientos ecuatoriales se fortalecen, las temperaturas superficiales descienden sobre la región este del Océano Pacífico Ecuatorial y la zona del océano sufre de temperaturas calientes. Por último, las lluvias convectivas se confinan en el extremo oeste de la cuenca. (Climate Prediction Center, 2012)

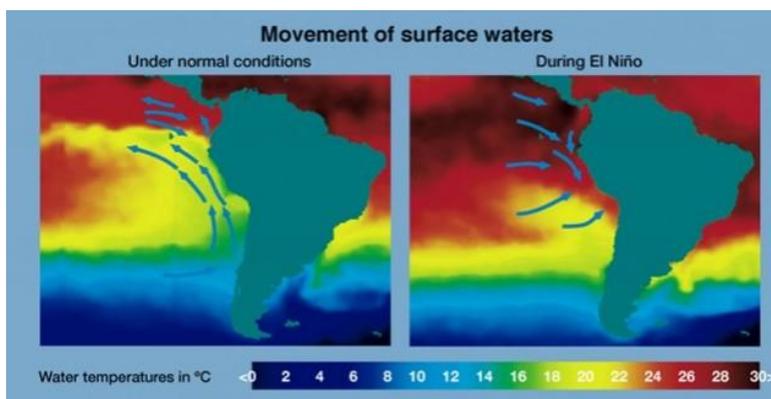


Figura II-11: Movimiento de Aguas Superficiales, bajo condiciones normales, y durante el fenómeno El Niño.

Fuente: <http://www.eduscience.pl/bundles/eduscience/main/images/articles/normal/fish203%20noaa.jpg>

La ocurrencia de El Niño y La Niña ocurren en un rango típico de cada 3 a 5 años. Sin embargo, en los registros que se tienen han ocurrido intervalos de ocurrencia que van de 2 a 7 años. (Climate Prediction Center, 2012)

2.7.1. Relación con el Cambio Climático

Según Kevin Trenberth investigador de la N.C.A.R. (National Center for Atmospheric Research), “...se han realizado varias simulaciones y modelos que logren relacionar el E.N.S.O. con el cambio climático. Sin embargo, estos no han sido escrutados de la manera más detallada y precisa posible, por lo que no se pueden obtener conclusiones con alto grado de realismo ni objetividad.” Además, dice que “...los modelos que se han analizado no tienen el rango de intensidad ni de variabilidad como el que tiene la propia naturaleza.” (Climate Prediction Center, 2012)

Una de las razones por la cual es tan difícil representar El Niño en un modelo se debe al movimiento de corrientes calientes en el océano. Para poder modelarlo de una

manera correcta, habría que simular globalmente lo que ocurre en la superficie del océano y la llamada circulación de tipo “cinta transportadora”, en donde el agua se mueve lentamente desde la superficie, pasando por la termoclina (región con los gradientes de temperaturas más fuertes) hasta el fondo del océano y viceversa. (University Corporation for Atmospheric Research, 2000)

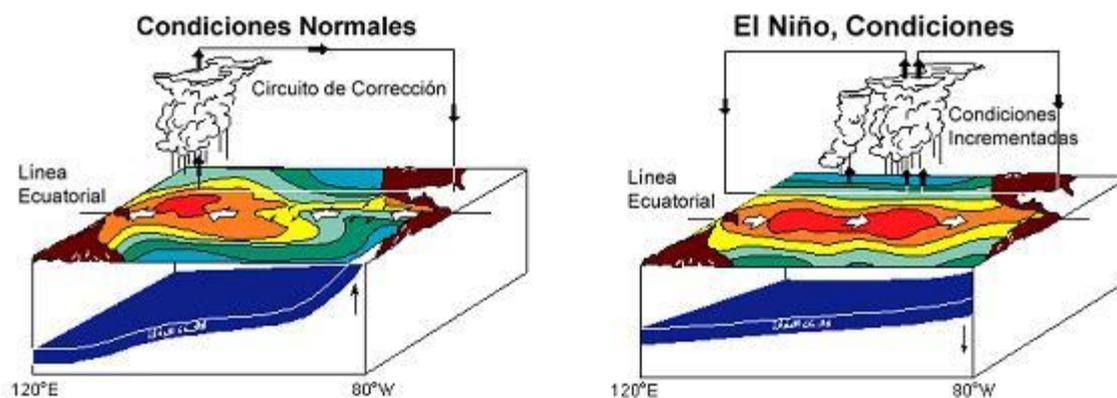


Figura II-12: Parámetros climáticos normales, y bajo el fenómeno de El Niño.

Fuente: <https://www.niwa.co.nz/our-science/climate/information-and-resources/clivar/elnino>

Sin embargo, Trenberth concluye que, “...aunque no exista un vínculo todavía entre el E.N.S.O. y el calentamiento global, tiene que haber una conexión, ya que el comportamiento inusual de la naturaleza lo indica. La ambigüedad surge debido a que no se ha podido clasificar cual es la parte natural y cual la parte del calentamiento global. Si se continua con este experimento por los próximos 20-30 años como se tiene previsto, presumiblemente las señales del calentamiento global se empezarán a ver.” (Climate Prediction Center, 2012)

2.8. La evolución de las civilizaciones desde el año 1000 y los cambios climáticos

De las historias de la evolución de las civilizaciones, se han sitios o civilizaciones que han podido estar relacionados con los cambios climáticos que han venido ocurriendo desde hace 1000 años, debido a lluvias torrenciales, donde el producto de deslaves modificó la topografía original y que en la actualidad son objeto de investigaciones arqueológicas. Los sitios escogidos en coordinación con el Prof. R. García R. y que serán ampliamente descritos en el capítulo de Marco Metodológico, son los siguientes:

- 1) Roma (Italia) ciudad oculta, donde parte de la nueva ciudad se encuentra sobre la Roma antigua.
- 2) Brujas (Bélgica), cuya historia menciona grandes aportes de sedimentos en el año 1134, que dio inicio al desarrollo de la ciudad.
- 3) La isla de Pascua (Chile) y los moais, cuyos cuerpos se encuentran por debajo de la superficie del terreno, posiblemente relacionados con eventos de lluvias torrenciales en el siglo XII.
- 4) París (Francia) y lluvias torrenciales en los siglos XI-XII, hasta las lluvias torrenciales del 2016.
- 5) El imperio Inca, y la relación con eventos de lluvias torrenciales entre los siglos XII y XIII.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

El actual Calentamiento Global de acuerdo al Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (I.P.C.C.) de la ONU, está afectado principalmente por las emisiones de CO₂, generadas desde la llamada Revolución Industrial. En el presente trabajo de investigación se evalúa la hipótesis de que dicho calentamiento, forma parte de un ciclo de temperatura en el planeta, que se ha repetido aproximadamente cada 1000 años en los últimos milenios. Dichos ciclos comienzan y terminan con altas tendencias en las temperaturas, seguidos por efectos climáticos de lluvias de mayor intensidad y duración, los cuales traen como consecuencia problemas de estabilidad en laderas asociados a deslaves. Dichos problemas se relacionan con ocultamientos arqueológicos, así como también el desarrollo de civilizaciones recientes. Para lo anterior, se ha utilizado los resultados de distintos trabajos de investigación (*véase el apartado 2.4*) sobre el cambio climático, los cuales, basados en gran variedad de proxies, evidencian que la tierra ha sufrido variaciones climáticas con altos registros de temperatura, principalmente relacionados con la evolución de las civilizaciones en los últimos 5000 años (R. Alley 2000), donde no existían emisiones de carbono de ningún tipo más que las naturales. De igual forma, se buscará reflejar estos cambios climáticos a través de la historia, relacionándolos con precipitaciones torrenciales de mayor duración e intensidad, con la generación de deslaves, ocultamientos de monumentos arqueológicos y la formación de relieves topográficos de menor pendiente al pie de monte que marcaron el desarrollo de civilizaciones.

Se trata de una Investigación Documental, que según Maritza Barrios Yaselli (1990) en Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales se entiende como “...el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, reflexiones, conclusiones, recomendaciones y, en general, en el pensamiento del autor.” (Barrios, Reimpresión 2012).

Según los objetivos del estudio, el TEG se determina como un estudio de desarrollo teórico, significando esto, la “presentación de nuevas teorías, conceptualizaciones o modelos interpretativos originales del autor, a partir del análisis crítico de la información empírica y teorías existentes” (Barrios, Reimpresión 2012)

Para la realización de éste TEG no solo se investigaron los resultados de distintas investigaciones climáticas, sino que también se seleccionaron distintos sectores geográficos, en donde la evolución y desarrollo de sus civilizaciones se relacionan con eventos de lluvias y deslaves, que nos permiten ver reflejado el concepto que se quiere analizar. (Véase apartado 2.8, y su análisis en el apartado 3.6)

A continuación, se detallan los procedimientos que se utilizaron en la presente investigación y análisis.

3.1. Comparación

En esta sección del Trabajo de Grado se utilizará un método comparativo directo entre los distintos resultados obtenidos de los investigadores seleccionados en el apartado 2.4, en búsqueda de información climática o tendencias semejantes en el trabajo de los distintos autores.

Con la ayuda de los resultados gráficos de las investigaciones seleccionadas de variación de temperatura con el tiempo, se compara un solo gráfico con el eje de coordenadas X, Tiempo (t), en los últimos 1000 años hasta nuestros días. La ordenada Y, presenta la variación de temperatura. En dicho gráfico se sombrea los altos y bajos de temperatura tomando en cuenta el llamado Período Cálido Medieval y la Pequeña Edad de Hielo.

3.2. Variación de Temperatura en el último milenio

Durante la investigación realizada para el TEG se tomaron en cuenta los trabajos de distintos investigadores que llevaron a cabo sus estudios paleoclimáticos a través de proxies en distintas zonas del mundo y bajo distintos parámetros. Dichos trabajos basados en estudios paleoclimáticos, realizados a través de proxies, son la única herramienta que se tiene en la actualidad para descubrir las temperaturas en el pasado y que estas ayuden en el presente a poder predecir en el actual calentamiento global, eventos de lluvias continuas y problemas de deslaves, que afectaron en el pasado de forma similar.

El conocido “Palo de Hockey”, Mann et al. (1999), utilizado por las Naciones Unidas en el Protocolo de Kioto muestra variaciones de temperatura en el último milenio que no superan los 0.1° C, hasta los últimos 100 años donde superan por casi 0.6° C. Bajo ésta premisa, el I.P.C.C., en su reunión en París 2015, indica que el planeta debe tomar precauciones sumamente grandes ante las temperaturas que se están

experimentando en nuestros días, relacionadas en el mismo gráfico directamente con las emisiones de CO₂, desde la Revolución Industrial y su control en el futuro cercano.

Dichos valores reflejados en el trabajo de Mann et al., no se relacionan con los resultados de otras investigaciones realizadas por otros autores, donde se indican variaciones de temperatura que van de un alto en el año 1000, pasando por el Período Cálido Medieval y la Pequeña Edad de Hielo. Cada uno de los trabajos de investigación seleccionados y descritos en el Capítulo 2, se describen a continuación en forma breve y posteriormente se analizan las tendencias de los gráficos concluyentes en grupo.

3.3. Descripción de las Investigaciones existentes.

Durante el desarrollo del TEG se ha encontrado que distintos investigadores asocian las temperaturas del pasado con variaciones importantes, distintas a la base utilizada por la I.P.C.C. para su hipótesis de cambio climático, destacándose dos períodos importantes a partir del año 1000, el Período Cálido Medieval (MCA) y la Pequeña Edad de Hielo (LIA). A continuación se explicará brevemente cada uno de los gráficos propuestos por dichos investigadores.

Mann (1999), representa sus resultados en el famoso Palo o Bastón de Hockey. Concluye que desde el año 1000 hasta el año 1900 ocurrieron variaciones de temperatura dentro de los 0.2° C. Hacia el año 2000, se observa un cambio de temperatura de casi 0.7° C, lo cual es un indicio del que el ser humano con su era industrial es el único causante.

Mann no especifica un Período Cálido Medieval (MCA) o una Pequeña Edad de Hielo (LIA) dentro del milenio, sólo un ascenso de temperatura desde el año 1900, hasta nuestros días. ¿Por qué luego de que tantas investigaciones contradicen el famoso Bastón de Hockey, éste sigue usándose como fundamento en importantes conferencias climáticas?

Christiansen y Ljungqvist (2012) colocan las temperaturas en el siglo XI muy parecidas a la del siglo XX, un alto de temperaturas desde el 1000 hasta el año 1250, donde la anomalía disminuye en casi casi 1° C (colocándose por debajo del promedio de temperatura). Las temperaturas continúan descendiendo pero muy gradualmente y no es sino hasta 1600 que comienza la “Pequeña Edad de Hielo” (LIA) manteniéndose hasta los años 1900, donde las temperaturas igualan las del siglo XI.

Thompson y Davis (2012) muestran sus resultados en tres (3) gráficos, uno referente a desviación isotópica de oxígeno, otro a la acumulación de hielo, y por último lo compara con los Resultados de Moy (2002), de intensidad del color rojo en la laguna de Pallcacocha, Ecuador. En el estudio de desviaciones isotópicas de oxígeno, que como bien se explicó en el *apartado 2.2.1.3*, a medida que esta es menor, la temperatura asociada es fría, y al ser mayor se asocian períodos calientes. Tomando como eje referencial una desviación isotópica de ^{18}O , se observan épocas calientes desde el inicio del milenio hasta el año 1400, se mantiene estable hasta 1450 aproximadamente, y luego desciende la temperatura hasta donde comienza el LIA. Para el año 1000 la temperatura promedio alcanza un valor algo mayor a las medidas a finales de siglo XX.

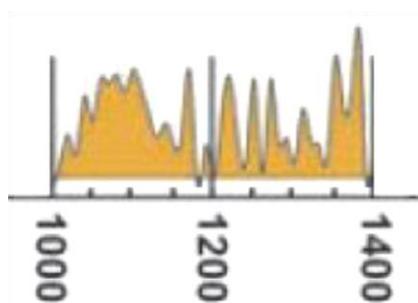


Gráfico III-1: Extracto del Gráfico III-3
Fuente: Elaboración

Moy, et al. (2002) evalúa mediante un análisis de sedimentos en la Laguna de Pallcacocha, las longitudes de onda mediante reflectancia espectral, para determinar la intensidad de color rojo. El MCA se encuentra delimitado entre los años 1000 y 1400, es decir, con una duración de 400 años, la cual muestra una diferencia en la continuidad de la intensidad de unidades de color rojo. Entre los años 1000 y 1200 se muestra un ascenso y descenso continuo, que lo diferencia del período entre los años 1200 y 1400, de una serie de picos, véase el **Gráfico III-1**.

Del **Gráfico III-1**, se podría considerar que durante el primer período de tiempo, las escorrentías que caen a la laguna debieron ser en general, continuas, pudiendo estar relacionadas con períodos de lluvia de mayor duración. Cuando se analiza el período comprendido entre los años 1200 y 1400, se asocian picos intermitentes, con pérdida entre ellos, del color rojo de reflectancia, pudiendo estar relacionadas con períodos bajos de escorrentía y la ausencia de algún tipo de aportes mineralógicos debido a escasos efectos de erosión en la cuenca.

C. Loehle (2008), realiza la reconstrucción del clima a partir de su publicación climática en el año 2007, en general, coincidiendo en muchos aspectos con la investigación de Thompson, donde los períodos MCA y LIA se superponen casi por completo. Loehle concluye que entre 820 y 1040 el período MCA, fue más caliente y que entre 1440 y 1740 el período LIA, fue más frío.

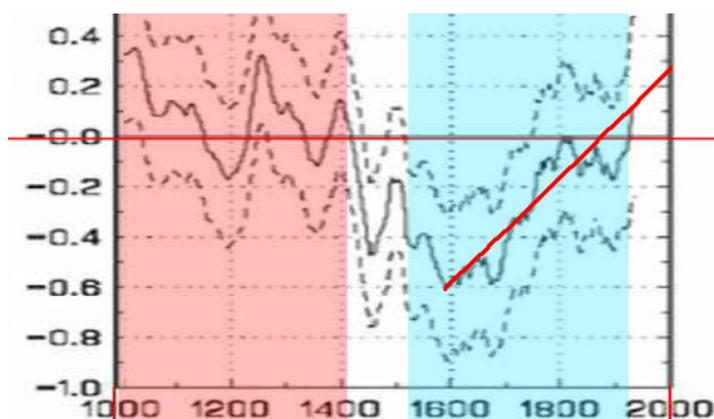


Gráfico III-2: Extracto del gráfico III-3

Fuente: Elaboración Propia.

Loehle establece en su gráfico dos picos de temperatura en el año 1000 y 1225, ambos con casi 0.4°C de anomalía por encima del promedio. Hacia el año 2000, si realizamos una línea de tendencia como se observa en el Gráfico III-2 se obtiene un alto valor de temperatura

aproximado, muy parecido al expresado por el investigador a principios de milenio, con diferencia menores a 0.03°C . Esto, puede estar relacionado y concuerda con la teoría de ciclos naturales de variación del clima en la tierra, con posibles efectos en períodos de lluvias de mayor intensidad y duración.

Alley (2000) representa en su gráfico un pico alto de anomalía de temperatura desde el año 1000, el cual se encuentra en 0.25°C aproximadamente por encima del promedio. Este pico cuando se compara con las temperaturas actuales que se encuentran en el “Período Cálido Moderno”, son menores con una diferencia cerca de 1°C , evidenciando que ya existían precedentes de temperaturas más elevadas a las registradas en los últimos años. La Pequeña Era de Hielo según Alley, se encuentra comprendida entre los años 1400 y 1700, teniendo su pico más bajo a finales de este período, con anomalías de 0.5°C por debajo del promedio.

3.4. Tendencias de Temperaturas desde el año 1000.

De acuerdo a los resultados descritos por los investigadores analizados, desde el año 1000 se observan tres (3) tipos de tendencias en la temperatura, ascendente, descendente y estable.

En el año 1000 o comienzo del siglo XI, los distintos investigadores, como Christiansen, Thompson, Loehle, y Alley, coinciden en que la temperatura presenta un pico, el cual lo comparan con el calentamiento actual a finales del siglo XX, y comienzo del actual siglo XXI. Así mismo, delimitan los llamados Período Cálido Medieval y Pequeña Edad de Hielo dentro de dicho milenio.

Christiansen muestra en su gráfico que después del pico de temperatura hay una tendencia descendente hasta aproximadamente el año 1350, donde se observa un ligero cambio. A partir de ahí, el descenso se observa gradual hacia la LIA, acentuándose la tendencia entre 1500 y 1700.

En el trabajo de Thompson, el período MCA, está delimitado entre los años 1000 a 1400, cuya correlación con las investigaciones de Moy, divide el período entre 1000 y 1200, y de 1200 a 1400, con temperaturas ligeramente estables entre el período de verano e invierno. La LIA está delimitada con un descenso de temperatura, destacándose mayor entre los años 1700-1800.

C. Loehle muestra una tendencia descendente que abarca desde el pico en el año 1000 hasta el año 1600. La época más fría es la LIA y se delimita entre 1550 y 1700, desde donde la temperatura va ascendiendo hasta nuestros días.

R. Alley, mantiene una tendencia descendente desde el inicio del milenio donde se encuentra en un pico de temperatura hasta el año 1650, el cual se mantiene estable hasta el año 1800 y comienza una tendencia ascendente hasta la fecha.

3.5. Resumen de la variación de temperatura desde el año 1000

La información gráfica publicada por los distintos investigadores tomados para el desarrollo de TEG, fue colocada en forma de columna, manteniendo en el eje X desde el año 1000 al presente.

Inicialmente, como se observa en el **Gráfico III-3**, se resaltan para cada autor lo que se conoce como Período Cálido Medieval y Pequeña Edad de Hielo en Rojo y Azul respectivamente, Christiansen indica períodos cortos, en los cuales se observa entre ambos una variación lenta. Thompson define ambos períodos dejando muy poco tiempo de transición entre cada uno de ellos. Loehle es muy parecido a Thompson, con una transición de casi 80 años más pero relativamente pequeña respecto al resto. Alley, define el primer período cálido antes del año 1000, el cual dura hasta el año 1200 al igual que Christiansen, y el segundo período luego de 200 años se mantiene desde 1400 hasta el 1700.

Luego, si se analiza la superposición de éstos períodos entre todos los autores se tiene que:

Para el Período Cálido Medieval, todos los autores exceptuando a Mann, coinciden que desde el año 1000 la Tierra se encuentra en un período muy caliente que va disminuyendo hasta cerca de los años 1400, sin embargo, es hasta el año 1150 aproximadamente, que todos los autores lo marcan como PCM, lo que hace pensar que efectivamente hasta esa fecha se podría afirmar dicho período climático, y que entre 1150 y 1400, si bien las temperaturas eran altas, ya estaban un tanto alejadas de las máximas. En los años 1450 a 1900, se limita la Pequeña Edad de Hielo, con su mínimo registro de temperaturas entre los años 1500 y 1700.

El Período Cálido Medieval se relaciona con el renacimiento, donde los efectos climáticos aparentemente, debieron presentarse con poca variación, permitiendo el desarrollo de civilizaciones.

Bajo el dominio del cristianismo, después del renacimiento del siglo XII, 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, 2005)

3.5.1. Resumen gráfico de las temperaturas durante los últimos 1000 años según los distintos autores analizados, especificando MCA y LIA en cada uno.

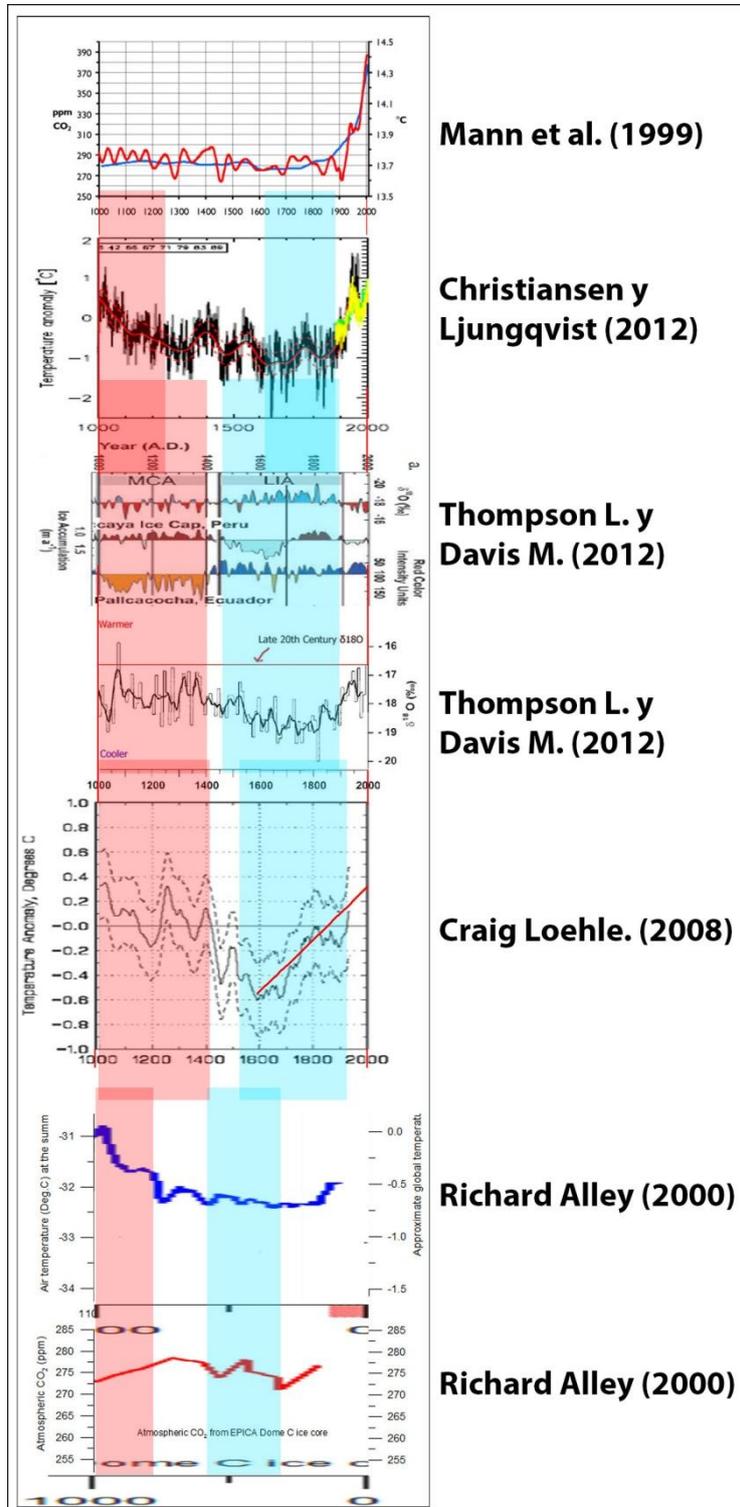


Gráfico III-3: Delimitación de MCA y LIA para cada investigador.
Fuente: Elaboración Propia con base en los gráficos de cada investigador.

3.6. Análisis de eventos climáticos de sitios en estudio



Figura III-1: Ubicación de sitios analizados.

Fuente: Elaboración Propia.

Para analizar los efectos del clima en la evolución de las civilizaciones fueron seleccionados cinco (5) sitios en el mundo, donde eventos climáticos debieron aportar grandes volúmenes de sedimentos en el pasado, con modificación del relieve, que ocultaron las actuales excavaciones arqueológicas, y que condicionaron el desarrollo de las civilizaciones actuales. Dichos eventos debieron estar relacionados con problemas de estabilidad en las laderas originados por lluvias, saturando los materiales y arrastrándolos ladera abajo.

Aunque pueden ser numerosos los ejemplos de ocultamientos de monumentos arqueológicos, en el presente TEG se seleccionaron cinco (5) sitios, donde su ocurrencia se da principalmente, a partir de los siglos XI y XIII, pudiendo estar relacionada con grandes aportes de sedimentos, debido a períodos de lluvias de mayor intensidad y duración.

La investigación de cada uno de los sitios se debe considerar preliminar, donde se abre una teoría sobre el ocultamiento por sedimentos de monumentos arqueológicos debido a condiciones climáticas. Cada sitio requiere de investigaciones más amplias y de campo, lo cual representa otros niveles no previstos en el presente TEG.

3.6.1. Roma (Italia)



Figura III-2: Ubicación de Roma.

Fuente: <http://mas->

[historia.blogspot.com/2012](http://mas-historia.blogspot.com/2012)

La ciudad de Roma es la capital de Italia, localizada en la región de Lacio, a orillas del Río Tíber y a unos 20 kilómetros del Mar Tirreno, tal como se puede observar en la **Figura III-2**. Se encuentra a una altitud de 13 msnm en su punto más bajo (Piazza del Popolo) y a 120 m.s.n.m en su punto más elevado (Monte Mario). (Mundo City, s.f.)

De acuerdo a la historia, Roma se asentó sobre un grupo de siete colinas, con elevaciones de 50 a 60 m.s.n.m. El río Tiber divide a la ciudad, encontrándose del lado Este los montes del Capitolio, Aventino y Paladino. Hacia el Oeste, Pircio, Quirinal, Viminal y Esquilino.

(Codina, s.f.)

2.1.1.1 Desarrollo de la Ciudad durante el Imperio Romano.

Durante toda la existencia del Imperio Romano, se desarrolló gran cantidad de edificaciones y monumentos de gran importancia. Muchos de ellos todavía se pueden observar tal como se muestra en la **Figura III-3**, y de otros, solo quedan algunos restos visibles. Sin embargo, hay muchos monumentos que se destruyeron u ocultaron y que evidentemente no se alcanzan a observar en la actualidad, esto debido a eventos



Figura III-3: Foro Romano en la actualidad.

Fuente: <http://www.nationalgeographic.com.es/>

naturales que ocurrieron en cierto tiempo pasado, pero que quedaron evidenciados en escritos por ilustres historiadores entre los que resaltan: Flavio Biondo (1392- 1463), Poggio Bracciolini (1380-1459) y Battista Leona Alberti (1404-1472). (García, 2016)

Roma fue fundada en el año 743 AC, denominada “ciudad de las siete colinas”, limitada por valles de quebradas, que drenan principalmente hacia el río Tíber. La ciudad debió ser fundada donde las condiciones topográficas favorecieran con un mínimo movimiento de tierra, contaran con un abastecimiento de agua permanente y limpia, una cloaca que lograra recoger el vertido de la población y un desarrollo de siembra y ganadería controlada, por lo cual debió escogerse el valle limitado entre las colinas del Capitolio y Palatino, donde se desarrolló con el paso de los siglos el llamado Foro Romano. (García, 2016). Así mismo, la cercanía al río Tíber y la presencia de la isla Tiberina, facilitó la instalación de un puerto. También, para el cruce del río, se pudo haber utilizado dicha isla como división del cauce en dos tramos, el cual podría ser desviado en su totalidad hacia uno u otro, en época de verano. Al estar el cauce dividido se facilitaría la construcción del puente romano existente. Inmediatamente aguas abajo, de la isla Tiberina, el cauce del río Tíber se encuentra controlado lateralmente por la colina Aventino y otra colina del lado noroeste, desembocando por su margen izquierda, el drenaje del área romana.

El auge del desarrollo de Roma debió ocupar los valles entre las colinas, donde se facilitaron la ubicación de los sistemas de cloacas, así como los primeros abastecimientos de agua mediante acueductos. Las colinas debieron ser utilizadas posteriormente para desarrollos habitacionales que rápidamente formaron una malla de calles y avenidas principales de acceso. Lo anterior, obligó a conducir el agua a través de acueductos elevados con principios de ingeniería hidráulica y estructural de tecnología avanzada para la época. (García, 2016)

3.6.1.1. Algunas Edificaciones Ocultas.

La ciudad de Roma tal cual como se conoce hoy en día, se piensa que comenzó a desarrollarse al comienzo de la Baja Edad Media, durante el período comprendido entre el siglo XII al XV. Debajo de la actual ciudad, existen todavía partes de las ruinas de los cimientos de una gran metrópolis sobre la cual están edificadas muchas de las construcciones que se pueden apreciar hoy en día. (History Channel, 2007)

En la actualidad, solo se ha descubierto el 10% de la Roma antigua que se encuentra bajo tierra. Estos estudios arqueológicos empezaron hace 200 años aproximadamente, por lo que todavía se esperan varios siglos por venir para su eventual y total descubrimiento. (History Channel, 2007)

A continuación se presentan algunos ejemplos de edificaciones construidas cuyos cimientos están sobre ruinas antiguas:



Figura III-4: Iglesia Paleocristiana (siglo I.V.) debajo de la actual Basílica de San Clemente.

Fuente:<http://www.unitedeuropeanchristendom.com/>

función hasta finales del siglo IV, cuando se prohibió la adoración a los cultos paganos. En la **Figura III-4**, se puede apreciar mejor de manera gráfica lo descrito anteriormente. (María, 2011)

- **Palacio de Canevari, Antiguo Instituto Geológico Italiano:** en el año 2013 se



Figura III-5: Casa más antigua conocida de Roma (siglo VI a.C.) cuyas ruinas sirven de cimiento para las columnas del Palacio de Canevari.

Fuente:<http://www.historiantigua.cl/noticias/sorprendente-hallazgo-en-roma-fue-encontrada-la-casa-mas-antigua-de-la-ciudad-siglo-vi-a-c/>

esa zona era una necrópolis y no un área residencial. Igualmente, demuestra que

- **Basílica de San Clemente:** esta basílica fue construida en el siglo XII sobre una primera pequeña basílica paleocristiana construida en un período comprendido a finales del siglo IV y principios del siglo V, igualmente, está sobre un pequeño templo dedicado al culto mitra del siglo I que tuvo dicha

estaba buscando reestructurar dicho instituto que se encuentra en el área de Quirinal, una de las 7 colinas de Roma, para dedicarlo al uso de oficinas. Fue en ese momento cuando se descubrió que debajo del edificio se encontraba una casa que data del siglo VI a.C. Este descubrimiento fue de gran importancia ya que siempre se había pensado que

hace 2600 años, la antigua Roma era mucho más grande de lo que se creía. (Gómez, Descubierta la casa más antigua de Roma, 2015)

- **Edificio en Via dell'Ara Massima:** este edificio fue construido en 1931.

Debajo de este, se encuentra el Mitreo del Circo Máximo, el cual se desarrolló en el siglo II aproximadamente. El edificio se encuentra apoyado sobre unas columnas (construidas en el momento de su desarrollo) y de los anchos muros del mitreo, los cuales



Figura III-6:Columnas apoyadas sobre los muros del Mitreo del Circo Máximo.

Fuente:<http://pozzodigiacobbe.blogspot.com/2015/10/mitreo-del-circo-massimo-sabato-7.html>

fueron confinados con la acumulación de sedimentos de partículas finas y gruesas, que le aportaron un gran nivel de rigidez. (History Channel, 2007)

- **La Rampa Imperial de Domiciano:** construida en el siglo I por el emperador Domiciano.

Tenía como función servir como un corredor cubierto desde su palacio hasta el Foro Romano.

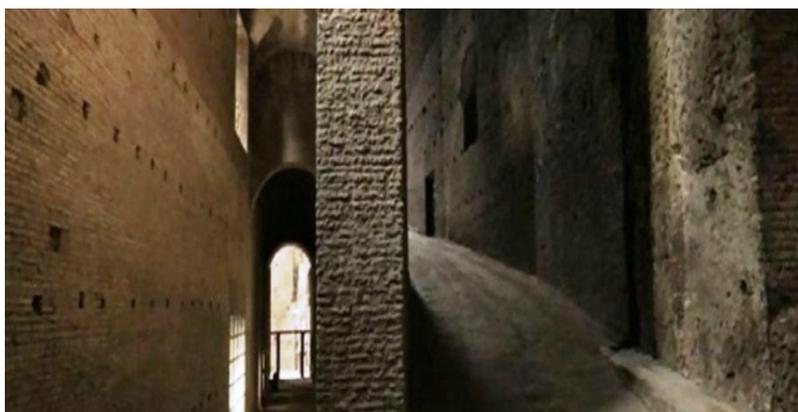


Figura III-7: La Rampa Imperial de Domiciano

Fuente: <http://www.visite-guidate-roma.it/event/rampa-domiziana/imperial-de-domiciano-en-el-foro-romano/>

Esta sube desde dicho Foro por las laderas de la Colina del Palatino a lo largo de 200 metros, presentando un desnivel de casi 40 metros. Esta construcción fue descubierta en excavaciones que se realizaban en la zona para el año de 1900 por el arqueólogo Giacomo Boni y fue abierta por

primera vez al público en el año 2015 después de que se le realizaran trabajos de restauración durante 5 años. (Gomez, 2015)

- **Fortaleza Militar cerca de la Basílica de San Juan de Letrán:** durante las excavaciones que se estaban realizando en el año 2016 para la nueva línea “C” del metro, se descubrió una fortaleza militar que data del siglo II, del período de



Figura III-8: Fortaleza Militar del Siglo II.

Fuente: http://www.abc.es/cultura/abci-descubren-restos-201605161531_noticia.html

Adriano, emperador procedente de una familia hispana de Itálica. El área de excavación se encuentra cerca del Coliseo, esto debido a que esa zona para la época tenía una

alta concentración de alojamientos militares. La fortaleza cuenta con 1.700 m² y está a una profundidad de 9 metros aproximadamente. Esta, cuenta con 39 salas que se encuentran situadas en los laterales de un largo corredor y donde se presume que dormían los soldados. Igualmente, se presume por los muros principales, que este cuartel contaba con un segundo piso donde se encontraban los depósitos de las armas, cocina y sala de culto. (Gómez, 2016)

- **El Foro Romano:** era un conjunto de edificaciones que se empezaron a construir a partir del año 179 a.C. con la Basílica Emilia hasta la colocación de la Columna de Focas en el año 608. Se encuentra en la parte central de la antigua ciudad de Roma, en donde se desarrollaba la vida política, jurídica y social de la civilización romana. En sus orígenes, la zona de construcción era un valle pantanoso rodeado de las colinas del Palatino, Capitolio, Viminal y Quirinal, que luego fue drenado con la excavación de la Cloaca Máxima en el año 600 a.C.

Series de restos de pavimentos hicieron que los arqueólogos pudieran concluir que el nivel del foro se estaba elevando debido a sedimentos provenientes de las colinas circundantes a partir del siglo I aproximadamente, ya que dicho pavimento data de la época del emperador César Augusto. (Bermúdez, 2015)

En la Edad Media comenzó el ocultamiento de varias edificaciones que comprendían el Foro, el cual posterior a su ocultamiento se le realizaron excavaciones, pero no fue hasta el siglo XVIII que se realizó la primera excavación profesional con fines arqueológicos, para ser totalmente descubierto a principios del siglo XX. (Bermúdez, 2015)

3.6.1.2. El Ocultamiento de la Roma Antigua.

Al ver los ejemplos mostrados anteriormente, surge una interrogante del por qué se construyeron edificaciones sobre las ruinas de otras. Sin duda alguna, las primeras edificaciones fueron sepultadas debajo de la tierra por una acumulación de sedimentos provenientes posiblemente de la cuenca del río Tiber que abarca un área de 17.375 Km^2 , y que constituye el único aporte importante cercano a la ciudad. La razón de estos grandes aportes de sedimentos se relacionan con lluvias torrenciales.

El gran desarrollo de la Roma actual empezó aproximadamente entre el siglo XI y el XV tal como se indicó anteriormente. Este rango de tiempo coincide con el Período Cálido Medieval marcado por la mayoría de los autores analizados, en donde las temperaturas se encontraban estables, permitiendo el desarrollo y expansión de la civilización de Roma.

3.6.2. Brujas (Bélgica)



Figura III-9: Ubicación de Brujas.

Fuente:

http://1.bp.blogspot.com/_erYYtABnbQ

Brujas, conocida como ciudad Medieval, pertenece a la República de Bélgica, localizada al norte a unos 20 kilómetros de la costa del mar, capital de la región belga de Flandes Occidental. Situada en el extremo noroeste de Bélgica a 90 kilómetros de la capital Bruselas. Cuenta en su núcleo urbano con una población de 117.000 habitantes.

El mayor atractivo de Brujas es su centro histórico, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en el año 2000¹. Aunque en gran parte se encuentra

reconstruido, dicho centro urbano es uno de los más grandes atractivos turísticos centroeuropeos, ya que mantiene intactas las estructuras arquitectónicas medievales. Al igual que Ámsterdam y Estocolmo, Brujas es conocida como la Venecia del norte debido a la gran cantidad de canales que atraviesan la ciudad, y a la belleza de los mismos.

3.6.2.1. La tormenta que abrió paso a las riquezas en Brujas



Figura III-10: Imagen satelital de Brujas y su Canal directo al puerto de Zeebrugge.

Fuente: NASA Earth Observatory

En tiempos medievales el mar inundó el área alrededor de Brujas, cavando de esta forma canales.

Baldwin el primer conde de Flandes (Región Flamenca), construyó un castillo para protegerse de las incursiones vikingas, y gradualmente fue expandiéndose el pueblo a su alrededor. El comercio llegó a través de Damme, una aldea cercana y su vía fluvial. Brujas ganó su título de ciudad

¹ Unesco. Recuperado de: <http://whc.unesco.org/en/list/996>

para el siglo XI, sin embargo poco después, la constante sedimentación fue cerrando la importante salida de la ciudad al mar. Por suerte, una tormenta en 1134 inundó las llanuras costeras de Brujas, ésta se esparció hasta el paso profundo del río Zwin existente que corría cerca de Brujas, dándole acceso al Mar del Norte. (NASA-Earth Observatory, 2006) (EcuRed, s.f.)

La tormenta antes mencionada que le generó acceso al Mar del Norte permitió a Brujas convertirse rápidamente en un imperio de la exportación de mercancías de toda Europa hasta el siglo XVI, incluso cuando Felipe el Justo, Rey de Francia visitó Brujas en 1301, su esposa Juana de Navarra se sorprendió tanto por la riqueza de los habitantes que afirmó *“Pensé que solo yo era reina, pero veo que aquí tengo 600 rivales”*. (Lonely Planet)

Sin embargo, las llanuras planas de Flandes generaron bajas velocidades en el río Zwin, y a su vez depósitos de limo que comenzaron a ahogar las instalaciones portuarias por lo que la ciudad cayó en declive económico, se mantuvo muy al margen de la economía mundial, estancándose poco a poco, y quedando prácticamente limitada al turismo y el comercio interno. (NASA-Earth Observatory, 2006)

Si bien las lluvias fueron constantes durante toda su historia, no siempre fueron de grandes magnitudes. Luego de que se hundieran los canales portuarios, entre el siglo XVI y el siglo XX, Brujas no recibió lluvias de gran magnitud que permitieran liberar el río Zwin. (Lonely Planet)

3.6.2.2. La Evolución de Brujas y el Cambio Climático.

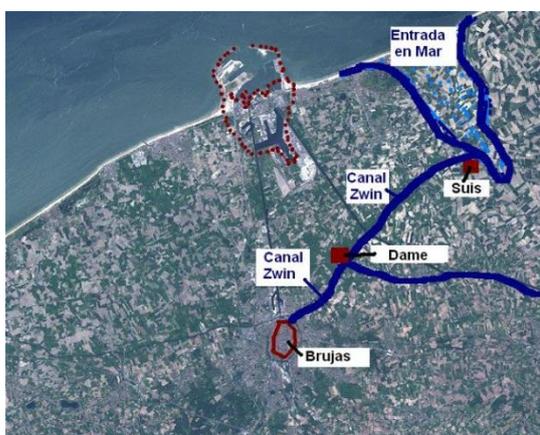


Figura III-11: Ubicación del Canal Zwin, actualmente sedimentado.

Fuente: Elaboración Propia.

Si se analiza la descripción anterior se destaca la gran lluvia torrencial del año 1.134, la cual inundó y profundizó el sedimentado río Zwin el cual corría hacia el este. Dicha lluvia se relaciona después de un máximo de temperatura, seguida con una estabilidad climática, que dio lugar a la sedimentación del río, colmatando los canales entre los siglos XVI y XX. Un nuevo canal se construyó a principios del

siglo XX hacia una nueva ciudad portuaria de Zeebrugge, tal como se muestra en la **Figura III-11**. Es importante destacar que la pequeña edad de hielo (LIA), puede estar relacionada con períodos de lluvias de menor magnitud, no existiendo lluvias tan intensas como las de 1134.

Al este del Brujas se encuentra Holanda, cuya historia de formación basada sobre materiales aportados por el río Rin, modificó en forma importante la topografía entre los siglos XI y XIII.

Durante la época Romana, existía el llamado lago Flevo, unido con el mar por una desembocadura del pequeño río Vlie, lo que es ahora el estrecho de Marsdiep. (Know, s.f.)

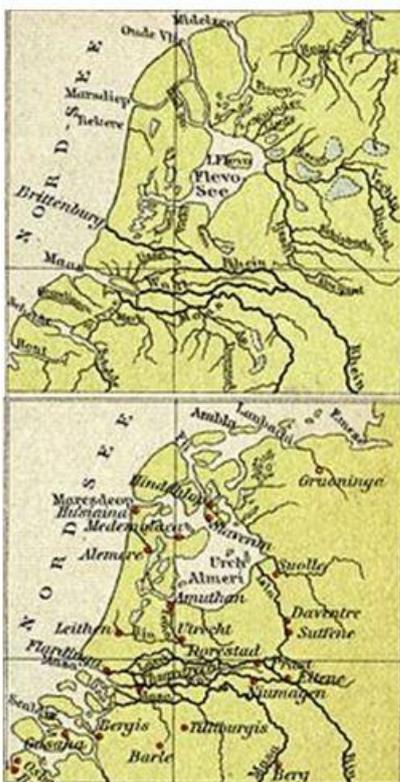


Figura III-12: Evolución histórica del área del delta del Rin-Mosa-Escalda desde la época romana hasta la Edad Media.

Fuente: Known

Enciclopedia

Para aquel entonces, esto significó una gran oportunidad de desarrollo, al utilizar el mar interno como centro de relaciones comerciales, logrando para el siglo XX una pesca que contaba con 3.000 barcos dedicados a la captura de arenque, anchoa, anguila, platija y camarón. (Know, s.f.)

El mar logró ganar terreno cerca del siglo IX, según algunas fuentes debido a una gran inundación, pero luego se mantuvo estable durante casi 200 años. (Know, s.f.)

En los siglos XII y XIII ocurrieron una serie de inundaciones, siendo la primera la de Santa Juliana, en 1164, y posteriormente las inundaciones de San Marcelo, ocurridas en 1212, 1214, 1219 y 1248. Las dunas de Callantsoog que separaban el lago Flevo del mar, fueron arrasadas y el lago se convirtió en un mar interior. (Know, s.f.)

En 1287 tras la inundación de Santa Lucía, que cobró decenas de miles de muertos, se completó el proceso de desconexión entre la isla Texel y el continente. (Know, s.f.)

3.6.3.1. El Origen de los habitantes de Pascua

Se considera que la primera llegada de gente enviada por Hatu Matu'a a la isla fue hacia el año 400 (BARTHEL, 1974), posiblemente con un clima cálido, cubierta con una densa vegetación principalmente de palmas y árboles, de donde obtenían la madera para las viviendas y como fuente de energía. Las tradiciones orales Rapa Nui, cuentan que algunos viajeros regresaban a Hiva, isla Polinesia (su tierra natal, hundida parcialmente), por diversos motivos, algunos al parecer hicieron viajes de ida y regreso más de una vez. Las costas presentan tierras bajas sumergidas y en las tierras bajas, (Knnett, Anderson, Prebble, Conte, & Southon, 2006) se encuentran restos de terrazas de cultivo, y polen, que indican una colonización alrededor del año 1200, según estudios de Carbono 14. Dicha fecha, corresponde a la segunda llegada de Hatu Matu'a a Rapa Nui (Isla de Pascua) (Bustamante, Vigiú, Adoue, & Tuki, 2008)

Dentro de las actividades de los habitantes de la isla, se encontraba el cultivo, principalmente a base de ñame, la pesca y la industria de los moais, los cuales provenían como tradición de sus ascendientes polinesios. Conversado con el tutor R. García, previo a la industria de los moais, se debió contar con una evaluación geológica realizada por los especialistas los cuales debieron tomar en cuenta la dureza de la roca a los efectos de flexión, la facilidad del talle y la durabilidad de la roca con el tiempo, habiéndose escogido la cantera de la ladera sur del volcán de Rano Raraku.

3.6.3.2. Los Moais.

El nombre completo de las estatuas en su idioma local es Moai Aringa Ora, que significa “rostro vivo de los ancestros”, realizados por los Rapa Nui para representar a sus ancestros, gobernantes o antepasados importantes, que después de muertos tenían la capacidad de extender su “mana” o poder espiritual sobre la tribu, para protegerla. (IMAGINA Isla de Pascua)

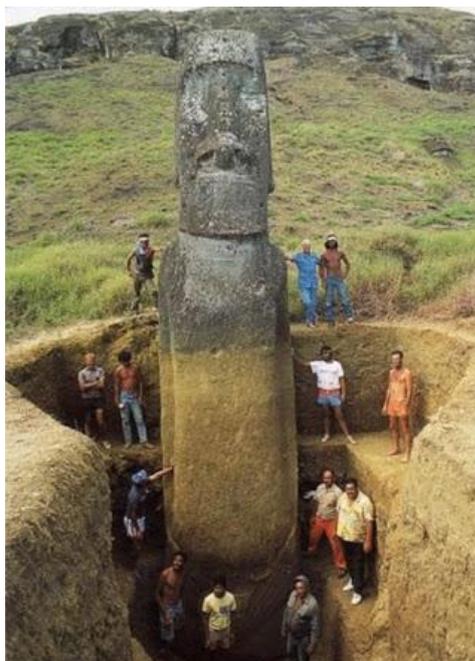


Figura III-14: Cuerpo de un moai enterrado más de 3m.

Fuente: <https://s-media-pinimg.com/236x/6b.jpg>

Se encuentran registrados unos 900 moais en la isla de Pascua, de los cuales unos cuatrocientos se encuentran en la cantera de Rano Raraku, 288 colocados sobre pedestales de piedra y el resto dispersos en distintos puntos de la isla, probablemente abandonados en la ruta hacia algún lugar de la isla. Poseen forma rectangular con una cabeza que ocupa algo más de la tercera parte de la estatua, con una nariz alargada y un mentón pronunciado. Los cuerpos fueron diseñados para que la estatua tuviera un bajo centro de gravedad, con un abdomen abultado en el tercio inferior y una espalda cóncava. (IMAGINA Isla de Pascua)



Figura III-15: Excavaciones de Moais.
Fuente: National Geographic.

3.6.3.3. Edad de los Moais.

La datación de los moais comienza después del año 400, y la tradición oral cuenta que era un arte que ya conocían en la isla de Hiva. Existe un manuscrito llamado Pua

A Rahoia, que narra el olvido de dichos pobladores polinesios de un moai de nombre Oto Uta en las playas de Hiva, que buscaron para llevar a la isla. (IMAGINA Isla de Pascua)

El año 1200 de nuestra era, está localizado por distintos historiadores e investigadores, como la segunda llegada de Hotu Matu'a a Rapa Nui. (Bustamante, Viguí, Adoue, & Tuki, 2008)

Llama la atención, el abandono repentino de la ejecución de moais, mencionándose unos 400 en distintas fases de construcción, lo cual debió ocurrir por algún fenómeno natural, cuyos efectos obligó a la desocupación de la isla. (GARCÍA, 2016)

National Geographic (2012) destaca en su página, que Arqueólogos del Easter Island Statue Project, han excavado varias de las colosales estatuas enterradas en la cantera del volcán Rano Raraku, demostrando lo siguiente:

“Las investigaciones han demostrado que los moáis se levantaron en el mismo lugar en el que están enterrados y que fueron colocados sobre pedestales de piedra. Además, no fue el hombre quien las cubrió de tierra, sino la acción del tiempo y de los elementos. Los arqueólogos han hallado en la zona más de 500 herramientas de piedra para tallar las estatuas, y finos útiles de obsidiana y basalto para esculpir los detalles.

También hay agujeros para postes y guías de sogas que habrían servido para levantar los moáis. Por último, la gran cantidad de restos de pintura que se ha localizado en el lugar sugiere que los trabajadores pintaban tanto las grandes figuras como sus propios cuerpos.” (National Geographic, 2012)

3.6.3.4. Isla de Pascua y el termómetro a nivel mundial.

Desde hace más de 30 años que autores como William Mulloy (1974), proponen sus hipótesis sobre las actitudes autodestructivas de los habitantes de Rapa Nui, haciendo que éste pequeño espacio de tierra rodeado por extensas superficies de agua se viera afectado de tal forma que acabara provocando guerras internas en la sociedad Rapanui, con consecuencias como el hambre, canibalismo, descenso demográfico, etc. (Bahn & Flenley, 2012)

Sin embargo, muchos investigadores han concluido luego de investigaciones, excavaciones y estudios que dichas hipótesis son incorrectas, Christopher Stevenson, afirma que *“...lejos de comportarse como unos depredadores insaciables, los nativos de Rapa Nui lo que hicieron fue aprovechar de forma inteligente los escasos recursos naturales con los que contaban.”* (Stevenson, Puleston, Vitousek, Haoa, Ladefoged, & Vitousek, 2014)

Los investigadores comprobaron que el suelo de la Isla de Pascua es menos rico en nutrientes que el resto de las islas polinesias, por lo que al llegar los primeros pobladores a la isla, se encontraron con recursos bastante limitados, sin embargo, se ha descubierto que los pascuenses supieron manejar bien dicha escasez, y en vez de agotar sus cultivos, las excavaciones indican que se alternaron los trabajos agrícolas en distintas áreas, para permitir la recuperación parcial del suelo. Oliver Chadwick, arqueólogo explica: *“Lo que hemos descubierto demuestra que sabían cultivar la tierra de modo eficiente, sin agotarla del todo”.* (Fernández, 2015).

La famosa arqueóloga del área del Pacífico, Mara Mulrooney en sus trabajos del



Figura III-16: Ubicación del Área 1 según Stevenson, et al.

Fuente: Stevenson, et

al.

2012 y 2013, en conjunto con (Stevenson, Puleston, Vitousek, Haoa, Ladefoged, & Vitousek, 2014) destacan una investigación sobre la isla de Pascua, separándola según su actividad agrícola en tres distintas áreas de cultivos, datada por medio de carbono 14. En el área 1

se indica un período de cultivos a partir del 1220, los cuales fueron rotándose con fechas más recientes hacia 1650. *Observar Figura III-18.* La primera fecha indicada coincide con la segunda llegada de Hotu Matu'a a Rapa Nui. La falta de data antes del siglo XII, puede indicar algún fenómeno que borró las evidencias anteriores de civilización, dejando solo los moais como testigos, los cuales se encuentran cubiertos por importantes espesores de sedimentos. Dicho fenómeno puede estar relacionado con eventos, tales como, períodos de lluvias torrenciales y deslaves asociados con el ocultamiento de los monumentos por sedimentos, los cuales debieron suceder previo a las fechas indicadas por Stevenson, Puleston, Vitousek, Haoa, Ladefoged y Vitousek (2014) y Mulrooney (2012 y 2013)

De igual forma, dichas dataciones de cultivos entre 1220 y 1650, pudiesen indicar una estabilidad climática que pudiese corresponder a parte del Período Cálido Medieval.

Al intentar relacionar el deterioro de la sociedad rapanui, con el cambio climático, en un principio la respuesta era, que había sido provocado únicamente por ellos, sin embargo, los estudios existentes nos demuestran que los pascuenses no se dedicaron a destruir la isla, sino que intentaron mantenerla. (Stevenson, Puleston, Vitousek, Haoa, Ladefoged, & Vitousek, 2014)

Al analizar las temperaturas a nivel mundial en el último milenio, el período cálido medioeval se puede relacionar con una isla de densa vegetación, con gran auge agrícola. Posteriormente el período de pequeña edad de hielo, pudo afectar la vegetación de la isla, pero los pascuenses encontraron la forma de mantener distintas áreas de

cultivo. (Mulrooney, Continuity or Collapse? Diachronic Settlement and Land Use in Hanga Ho‘onu, Rapa Nui (Easter Island), 2012) (Stevenson, Puleston, Vitousek, Haoa, Ladefoged, & Vitousek, 2014)

La isla de Pascua se encuentra en medio del gran océano Pacífico, donde el fenómeno de El Niño, tiene relación con los efectos climáticos a nivel mundial. La historia climática de Pascua puede aclarar la variación de temperatura en los últimos 1.000 años y servir como patrón a nivel mundial.

3.6.4. París y las Lluvias Torrenciales



Figura III-17: Ubicación de París.

Fuente:

<https://www.emaze.com/@AWLCTQCL/France>

París es la capital de Francia y se encuentra ubicada en el norte del país. Esta, es una ciudad relativamente plana la cual presenta su punto más bajo a 35 m.s.n.m y el más alto se encuentra en la colina de Montmatre a 130 m.s.n.m.

El Río Sena es el principal cauce que atraviesa la ciudad, la cual se encuentra rodeada de varias colinas entre las más relevantes: Montmatre, Belleville, Montparnasse, entre otras.

3.6.4.1. Desarrollo de París

El área donde se desarrolla la ciudad de París, posee en general, un relieve plano que permite destacar la vista de la colina de Montmatre o la Torre Eiffel. El río Sena cruza el amplio desarrollo urbanístico alcanzado en la actualidad, y su cuenca hasta la desembocadura al mar posee un área de unos 78.000 km², de la cual, drena el 70% a su paso por París. Hacia el sur, la cuenca está limitada por terrenos montañosos que cambian hacia el norte por terrenos ondulados, intensamente cultivados, los cuales contrastan con el área plana típica donde se desarrolló París.

3.6.4.2. Ocultamiento Parisinos

Igual que muchas de las grandes ciudades europeas, se encuentran edificaciones romanas ocultas que han sido objeto de excavaciones arqueológicas. Entre las edificaciones ocultas debido a aportes de sedimentos, encontramos las siguientes:

- **Las Termas de Cluny:**

localizadas en el sector de La Sorbona en Paris, antiguamente conocida como Lutecia. Ciudad galorromana la cual tuvo una época denominada la “Pax Romana”, donde comenzó a reinar la paz y tranquilidad a mediados del siglo I, por lo cual a finales de ese mismo siglo, el Imperio Romano



Figura III-18: Termas de Cluny.

Fuente:

<http://www.biodiversidadvirtual.org>

[/etno/Termas-de-Cluny-Paris-img34841.html](http://www.biodiversidadvirtual.org/etno/Termas-de-Cluny-Paris-img34841.html)

decidió construir dichas termas para el disfrute de sus habitantes. En la actualidad, dichas termas presentan un desnivel aproximadamente de 5 metros por debajo de las amplias avenidas que existen cerca de ellas.

- **La Cripta de Notre-Dame:** se encuentra justo debajo del atrio de la catedral. En ella, se presentan vestigios de hace 2.000 años hasta nuestros días, los cuales se encuentran divididos de acuerdo a las distintas capas arqueológicas que se logran apreciar desde su construcción en la época galorromana a finales del siglo I hasta su última modificación de importancia, con la construcción de un cuartel y un hotel en el siglo XIX.



Figura III-19: Ruinas de La Cripta de Notre Dame.

Fuente: <http://www.crypte.paris.fr/es/la-cripta>

- **La Arena de Lutecia:** fue un anfiteatro galorromano construido en el siglo I. Albergaba aproximadamente 17.000 espectadores. La escena del teatro posee unos 42 metros y una pista central elíptica de 2.490 m². Fue descubierta en el año 1860 por la Compañía General de Omnibus que para ese momento estaba buscando crear un depósito de tranvías en dicho espacio.

3.6.4.3. Inundaciones de Importancia en París

Las lluvias torrenciales de París que son descritas a continuación tienen como referencia un artículo publicado por la “Bitácora de Pedro Morgan”, titulado “Paris y el Calentamiento Global, de las Inundaciones de 1910 a las de 2010”. Gran parte de la descripción está basada en un libro titulado “Paris Inonde. La Crue de Janvier de 1910” (Paris inundado. La crecida de enero de 1910), publicado a principios del siglo XX, abarcando una descripción de los eventos climáticos desde el siglo V.



Figura III-20: Inundación de París. (1910)

Fuente:

https://intransit.blogs.nytimes.com/2010/02/26/100-years-later-revisiting-a-paris-flood/?_r=0

Paris es una ciudad que se ha visto afectada por fuertes lluvias torrenciales desde que se tienen registros. El primero, data de febrero del año 583 en donde se menciona una inundación que sufrió la ciudad, destacando graves daños a la navegación fluvial. A partir de ese primer registro, 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. Así, Orderic Vital decía en 1119 que los furros de un Sena inflado por las crecidas, convierten a los parisinos en horrorizados testigos de cómo unas aguas desbordadas inundan sus casas y campos. Pocos años después, en 1125, las inundaciones se vuelven persistentes, extendiéndose a lo largo de varios meses y causando una epidemia de hambre. Indeseable situación que se repetirá en los años 1175, 1197, y, en especial, en 1206, fecha en la que según las crónicas nadie entraba en su casa en París sino lo hacía a bordo de alguna embarcación. Todo causado por unas lluvias persistentes, jamás vistas, o superadas, hasta el año 1910 en opinión de los redactores de “Le Journal des Débats”. ” (Bitácora de Pedro Morgan, 2011)

Se sabe de manera precisa que este fenómeno que azotaba la ciudad, no se repitió hasta el año 1910, el cual fue de gran importancia y noticioso, ya que por primera vez se logró registrar gráficamente los daños colosales que estas lluvias hicieron sobre París y que ocasionaron mayores desastres específicamente, en el barrio de Marais y Saint-Germain. 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. (Bitácora de Pedro Morgan, 2011)

El último registro que se tiene es del 2 de junio de 2016, en donde París nuevamente se vio afectada por otra gran



Figura III-21: Inundación de París (2016).

Fuente: http://www.huffingtonpost.es/2016/06/02/paris-inundado-fotos_n_10261630.html

crecida del río Sena que llegó a alcanzar una altura de 5.10 metros y en donde se tuvo que evacuar a 4.000 personas que se vieron afectadas por dicho desastre. (Huffington Post, 2016)

3.6.5. Tiempo del Ocultamiento de Monumentos Romanos.

El mayor desarrollo de Paris al igual que Roma, fue a partir del siglo XII, coincidiendo con el Período Cálido Medieval en donde se destacan gran cantidad de edificaciones y monumentos que se pueden apreciar en la capital francesa hoy en día.

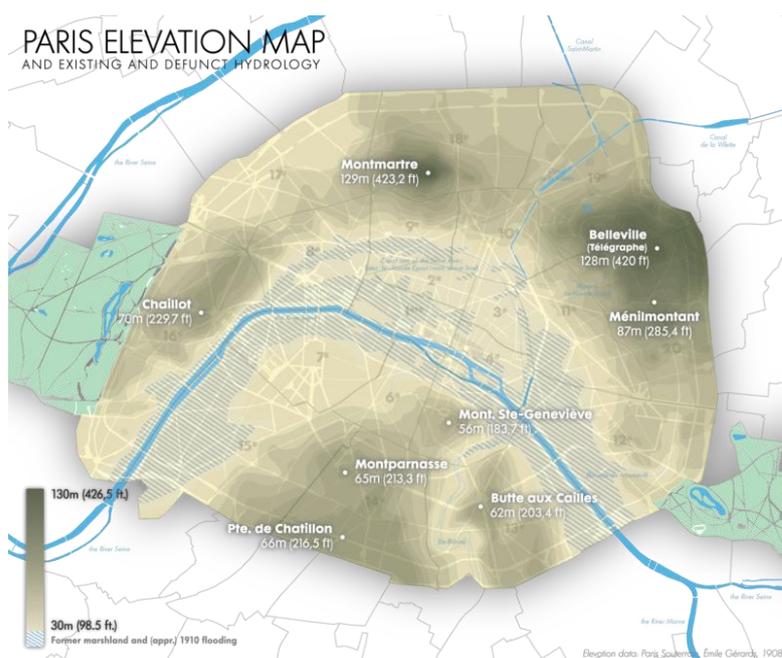


Figura III-22: Montañas más relevantes de París.

Fuente:

https://en.wikipedia.org#_elevation_hydrography.

La Catedral de Notre Dame es un gran ejemplo de lo dicho anteriormente. Esta, empezó a construirse a mediados del siglo XII y culminada en el último cuarto del siglo XIII. Lo relevante de esta catedral es que fue construida sobre otra pequeña iglesia del siglo VI llamada St. Elenne y su atrio se encuentra sobre una cripta construida en

el siglo I de la época galorromana, la cual fue descrita en el segmento anterior.

En la **Figura III-23**, se muestra el relieve topográfico de Paris, se observa la parte deprimida por donde divaga el río Sena, cuyas crecientes históricas debieron ocupar gran parte de la ciudad.

El ocultamiento de los monumentos romanos, debieron estar relacionados con el aporte de sedimentos durante las grandes crecidas del río Sena.

Igualmente, llama la atención que existen otras edificaciones antiguas como las Termas de Cluny, descritas también en el segmento anterior, que se encuentran hasta 5 metros por debajo del nivel actual de las calles y avenidas a su alrededor. Esto, debido igualmente a la deposición de gran arrastre de sedimentos.

3.6.6. Desarrollo Inca en El Valle del Río Urubamba (Perú).

El Imperio Inca fue un gran estado constituido a lo largo de gran parte de América del Sur, que va desde el suroccidente de Colombia, Ecuador, Perú y Chile, occidente de Bolivia y noroccidente de Argentina. Todo esto se puede detallar en la **Figura III-24**, donde se muestran las divisiones territoriales.

Este imperio logró tener su máxima expansión aproximadamente hasta los años 1532-1536, cuando comenzó la conquista española al Imperio Inca y por ende su declive. Se dice que llegó a contar con una superficie de desarrollo agrícola de 2.000.000 Km² y una extensión de 9.000 Km a lo largo de toda la costa, lo cual es gran evidencia del gran poderío que poseía este imperio. (González, s.f.)

El Valle Sagrado de los Incas, se encuentra ubicado en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes Peruanos. La altitud varía entre los 3.000 msnm y picos que alcanzan los 5.000 msnm. La ciudad más importante la constituye Cuzco, capital del Imperio Inca, localizada a una cota de 3.300 msnm. El área seleccionada como parte del TEG, se localiza entre la ciudad de Pisac y Urubamba, donde el valle del río de



Figura III-23: Extensión del Imperio Inca.

Fuente:

<http://www.historiacultural.com/2010/03/ubicacion-localizacion-imperio-inca.html>



Figura III-24: Valle de Urubamba.

Fuente: <http://www.projects-abroad-la.org/volunteer-destinations/volunteer-peru/>

igual nombre se caracteriza por una gran planicie aluvial, totalmente ocupada por grandes haciendas que se encuentran cultivadas en casi su totalidad. Hacia las laderas, destacan una serie de terrazas construidas durante el desarrollo del Imperio Inca, que en la actualidad representan una fuente turística de gran magnitud. (National Geographic, 2015)

3.6.6.1. Desarrollo del Valle Sagrado.

El Imperio Inca comenzó a desarrollarse aproximadamente en el siglo XIII bajo el mando de Manco Capac. Sin embargo la instalación de complejos ceremoniales construidos en el Valle Sagrado, como Pisac, Urubamba y Machi Picchu, comenzó a mediados del siglo XV (1438-1471) bajo el mando de Pachacuti Yupanqui. (National Geographic, 2015)

Debido a las privilegiadas áreas que presenta este valle, el cultivo de maíz para ese entonces fue clave para la alimentación de su población. Igualmente, el cultivo de la hoja de coca tuvo enorme importancia ya que era utilizada para los rituales que realizaban los Incas. (National Geographic, 2015)

3.6.7. Construcción de Terrazas (Andenes).



Figura III-26: Vista del amplio Valle Aluvial del Río Urubamba. (Pisac)

Fuente: García Ruiz, Roque.

A lo largo del valle del río Urubamba, se encuentran los poblados de Pisac, Calca, Urubamba, Ollantaytambo y Aguas Caliente, este último aldeaño al antiguo poblado de Machu Picchu. A lo largo de las laderas de dicho valle, se encuentran terrazas de cultivos, en laderas muy pendientes, que ocupan desniveles de cientos de



Figura III-25: Vista Superior de las Terrazas de Cultivos de Pisac.

Fuente: García Ruiz, Roque.

metros, y se extienden desde el sur de Pisac hasta Ollantaytambo. Dichas terrazas o andenes, están construidas a base de muros de piedras en forma escalonada, con alturas que alcanzan los 5 metros, conformando superficies planas para cultivos. Estas, son verdaderas obras de ingeniería, donde los elementos de control de erosión, riego y aducciones, debieron contar con un

personal especializado. (García, 2016)

A la llegada de los españoles, los poblados en montañas de alta pendiente, fueron abandonados, fundando ciudades hacia el valle aluvial del río Urubamba, aprovechando en parte amplios depósitos coluviales en la confluencia de ríos de menos caudal hacia el amplio valle aluvial. La mayor parte de los nuevos poblados fundados por el conquistador español, se encuentran en formas topográficas de relieve con curvas de nivel en abanico denominadas conos coluviales. (García, 2016)

Las amplias terrazas que existen entre Pisac y Ollantaytambo, evidencian que hubo una importante población que alimentar. Esto viene contrastado en la forma como los españoles después de la conquista se ubicaron en el valle del río, presentándose en la actualidad totalmente cultivado. (García, 2016)

3.6.7.1. La Terraza de Cultivos en Anfiteatros Topográficos



Figura III-27: Terrazas de Pisac.
Fuente: Google Earth.

La mayor parte de las terrazas de cultivo entre Pisac y Ollantaytambo, están asociadas a las formas topográficas convexas, producto de la inestabilidad de las laderas. (García, 2016)

Una vez originado un deslizamiento en un relieve de pendiente uniforme, la topografía cambia a una forma convexa, donde la mayor parte de

los materiales desplazados son de baja resistencia, relacionados principalmente con el perfil de meteorización. El plano de deslizamiento queda limitado por materiales de mayor resistencia, sobre el cual se garantiza la fundación de muros y la construcción de terrazas. (García, 2016)

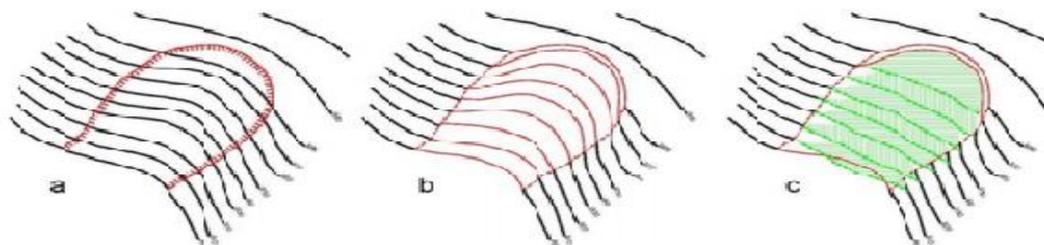


Figura III-28: Evolución de un Proceso de Inestabilidad de forma Convexa y la Construcción de Terrazas de Cultivo.

Fuente: García Ruiz, Roque.

En la **Figura III-29**, parte (a), se muestra la topografía original del plano de deslizamiento. Una vez ocurrido el desplazamiento de la masa deslizada, queda la forma topográfica convexa tal como se muestra en la parte (b), cuya superficie es lavada por la lluvia, eliminando los materiales sueltos y conformando una superficie resistente a los fenómenos de erosión, constituyendo el apoyo adecuado para la construcción de muros de piedra.

En la parte (c) de la misma figura y en el perfil topográfico de la **Figura III-30**, se muestran lo que serían los muros de piedra construidos, tratando de conformarlos con una superficie similar a la original pero de manera escalonada, generando terrazas de cultivos.



Figura III-29: Perfil Topográfico con Plano de Deslizamiento y la Construcción de Terrazas de Cultivo.

Fuente: García Ruiz, Roque.

3.6.7.2. El Desarrollo del Valle Sagrado y el Cambio Climático.

De acuerdo a R. García (2016), “...el Imperio Inca desarrolló la agricultura mediante terrazas, en laderas montañosas con gran pendiente, lo cual genera una gran interrogante de por qué decidieron realizar esta acción teniendo en esa misma zona un gran valle en el cual se pudieron haber instalado para habitar y cultivar.”

“... una posible respuesta a esta interrogante puede ser el hecho que antes de empezar el desarrollo del Imperio Inca, pudieron ocurrir períodos largos de lluvias que saturaron las laderas, con grandes problemas de estabilidad, destacándose en la leyenda del origen de los Incas, su comienzo después de un gran período de lluvias e inundaciones. Se puede pensar que los incas querían prevenir futuros desastres como consecuencia de lluvias continuas que pudiesen arrasar con dicha planicie. Es por eso que cuando se instalaron en las terrazas, construyeron avanzados sistemas de drenaje para evitar que las montañas se llegaran a saturar y ocasionaran desastres en su población.” (García, 2016)

Con la llegada y conquista de los españoles al Valle Sagrado en el año 1536 (siglo XVI), estos decidieron instalarse en la planicie, algo totalmente opuesto a lo que

habían realizado los Incas. He aquí otra posible respuesta a la interrogante que surgió antes. Si desde la llegada de los españoles a nuestros días existen todavía dichos desarrollos, es debido a que las lluvias fueron disminuyendo hasta el punto en que al día de hoy, toda esa zona es de alto nivel árido debido a las pocas precipitaciones en ella.



Figura III-30: Vista del poblado de Urubamba y el amplio Cono Coluvial.

Fuente: García Ruíz, Roque.

3.7. Resumen de los eventos climáticos relacionados con la evolución en los sitios investigadores

Tabla III-1: Resumen de Eventos Climáticos relacionados con la evolución de los sitios investigados.
Fuente: Elaboración Propia.

Lugar	Características	Evento Relacionado	Tiempo de Ocurrencia
Roma	Ocultamiento de monumentos romanos y construcción de la Roma actual a partir del siglo XII.	Lluvias torrenciales con grandes aportes de sedimentos provenientes de la cuenca del río Tiber.	Siglo XI-XII
Brujas	Sedimentación del río Zwin hacia el año 1050 y profundización del cauce y salida hacia el mar para el año 1134.	Período de lluvias de poca intensidad seguido por lluvias torrenciales que debieron abarcar parte de Bélgica y los Países Bajos.	Siglo XII-XIII
Isla de Pascua	El primer registro de habitantes en la isla data del año 400, teniendo una segunda llegada de Hotu Matua a Rapa Nui para el año 1200. La construcción de Moais pudo haber estado limitada hacia el año 1110 con sus ocultamientos antes de la segunda llegada.	Lluvias continuas en parte torrenciales que trajeron como consecuencia la saturación y deslaves en las laderas.	Siglo XII-XIII
París	Presenta monumentos arqueológicos que se encuentran por debajo de la superficie actual del terreno. Ocultos por sedimentos que fueron arrastrados por crecidas del río Sena.	La acumulación de crecientes de mayor magnitud del río Sena se encuentran registradas hacia los años 1119, 1125, 1175, 1197 y especialmente, 1206.	Siglo XII-XIII
El Valle Sagrado de Los Incas	Amplían las zonas de las terrazas de cultivo que se encuentran constituidas en formas topográficas de anfiteatros, cuyo origen se debe a problemas de estabilidad.	Lluvias continuas que generaron saturación de las laderas y a su vez grandes problemas de estabilidad.	Siglo XII-XIII

3.8. Condiciones Climáticas de los siglos XX y XXI

En el **Gráfico III-4** se muestra la variación de temperatura del último milenio, del artículo de Christiansen y Ljungqvist, y se detalla el siglo XX a través del gráfico del GISS (NASA), el indica el índice de temperatura media global, tierra-océano.

Christiansen y Ljungqvist concluyen que, el nivel de calor en el MCA (Período

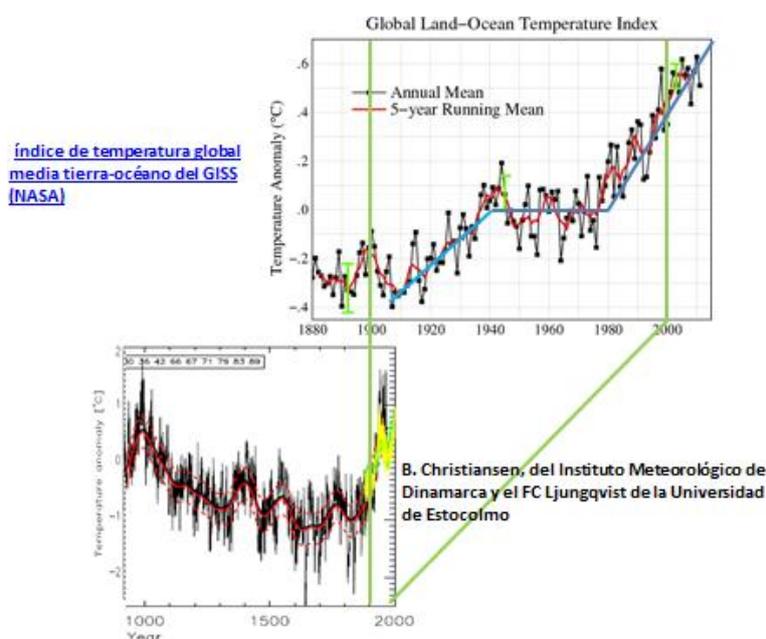


Gráfico III-4: Comparación de la Anomalia de temperatura entre el año 1900 hasta nuestros días, según Christiansen, et al., y la NASA.

Fuente: Elaboración Propia.

alcanza los 0.6° C de anomalía relacionada con el período de referencia 1880-1960.

A pesar de que las concentraciones de CO₂ en la atmósfera hoy en día son hasta 40% mayores a las indicadas durante el MCA y la afirmación de algunos autores de que “sin gases de efecto invernadero, el mundo no estaría calentándose de ésta manera” (IPCC, s.f.) o que “la tasa de calentamiento visto recientemente no tiene precedentes” (Mann, Osborn, Bradley, Briffa, Hughes, & Jones, 1999), las cuales han sido desestimadas por muchos investigadores de paleoclimatología. Se realiza la siguiente interrogante, si la naturaleza por sí sola en el pasado puede producir temperaturas como las que vemos hoy en día, ¿por qué no podría hacerlo de nuevo?

En el **Gráfico III-4** de GISS (NASA), se muestra el índice de temperatura media global tierra- océano a partir del año 1900 hasta 2015, donde se pueden diferenciar tres períodos de variación de temperatura. Un primer período desde 1900, donde la

Cálido Medieval) durante el siglo X, iguala o supera ligeramente el calentamiento al final del siglo XX. Éste hecho se reafirma en otros resultados más recientes de múltiples reconstrucciones de temperaturas a través de proxies. La reconstrucción de temperatura de dos milenios muestra un MCA bien definido, con un pico de calentamiento entre los años 950 y 1050, que

temperatura se encontraba a -0.4°C por debajo del valor de referencia 0°C , asciende hasta dicho valor hacia el año 1940, le sigue un período que en general se mantiene estable hasta el año 1980, desde donde vuelve ascender alcanzando valores de 0.4°C por encima del valor de referencia 0°C . El valor alcanzado en el 2017 es similar al valor máximo registrado para el año 1000, cerca de los 0.6°C .

A partir del año 1900 hasta el presente año 2017, la variación puede ser dividida en intervalos de 40 años, presentando un ascenso hasta 1940, un período estable hasta 1980, y un aumento hasta nuestros días. Pudiendo según ésta tendencia hacia el año 2020, neutralizarse la temperatura e incluso iniciar la disminución que se menciona según el análisis de los investigadores analizados en el TEG.

El ascenso de la temperatura desde el año 1980 al 2017 se reporta con un rápido aumento anual cercano a los 0.6°C en 37 años, valor similar al comienzo del milenio pasado.

Si se realiza la pregunta de, ¿cuándo será un futuro cercano para el cambio del actual calentamiento global?, se asoma la posibilidad de que la temperatura comience a descender, entre los años 2017-2020, caracterizada por lluvias de alta intensidad y duración.

3.9. Eventos climáticos en el mundo 1980-2015

La aseguradora Munich Re, realizó un estudio de eventos climáticos alrededor del mundo desde 1980 hasta 2015. Estos eventos se clasifican en 4 grupos: geofísicos, meteorológicos, hidrológicos y climáticos.

Según lo evaluado en el TEG, el enfoque va dirigido hacia los eventos hidrológicos y climáticos, los cuales se encuentran registrados según zona geográfica, número de muertos, daños materiales en US\$ y según el tipo de eventos.



Figura III-31: Ubicación de los eventos climáticos en el año 2015. Clasificados según su tipo.

Fuente: Munich RE.

A continuación, se muestra en el Gráfico III-5, la cantidad de eventos relevantes que han causado al menos una muerte o generado pérdidas de 100k, 300k, 1M o 3 millones de dólares. (Dependiendo del grupo de ingreso asignado por el Banco Mundial al país afectado) (Munich RE, 2016)

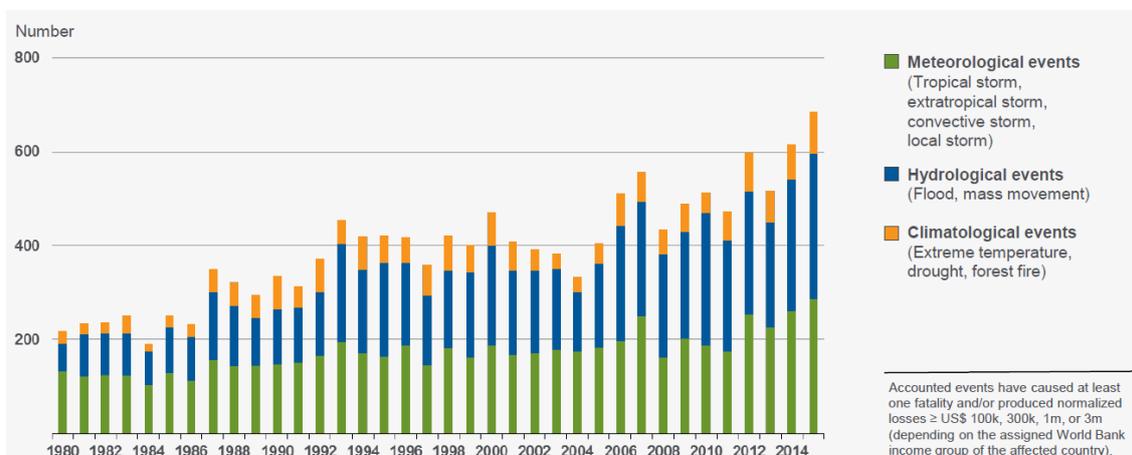


Gráfico III-5: Cantidad de eventos relevantes según Munich RE, desde el año 1980 al 2015.

Fuente: Munich RE.

Se tomaron los eventos hidrológicos tales como inundaciones, deslaves, o aludes de tierra ubicados en color azul en el **Gráfico III-5**. A dichos eventos se les realizó una proyección utilizando los datos del estudio antes mencionado por medio de una línea de tendencia con la cual se busca inferir una cantidad aproximada de eventos que pudiesen ocurrir para el año 2030.

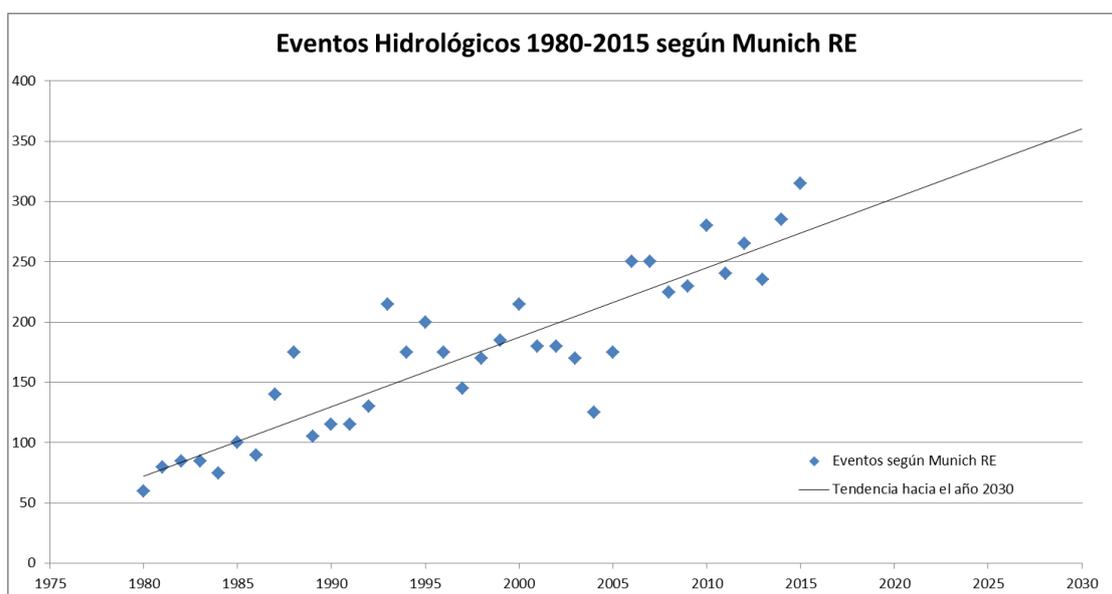


Gráfico III-6: Línea de tendencia lineal hacia el año 2030, utilizando los datos de eventos hidrológicos de Munich RE, presentados en el Gráfico III-5.

Fuente: Elaboración Propia.

Cómo se observa en el **Gráfico III-6** la línea de tendencia lineal, indica una probabilidad de que para el año 2030 se registren cerca de 360 eventos hidrológicos, esto asumiendo que el aumento de eventos mantenga su tasa de crecimiento. Sin embargo, como bien se ha mencionado, se han hallado relaciones entre las altas temperaturas y períodos posteriores de lluvias de alta intensidad y duración.

En la posibilidad que estos eventos climáticos aumenten su número y efecto, tal como los distintos autores investigados hacen referencia cuando dicen que en la tierra ocurren cambios climáticos de manera cíclica, entre ellos Richard Alley (2000), pudiese llegar a aumentar de forma exponencial, evaluando la posibilidad de que se generen cerca de 510 eventos para el año 2030, como se muestra en el **Gráfico III-7**.

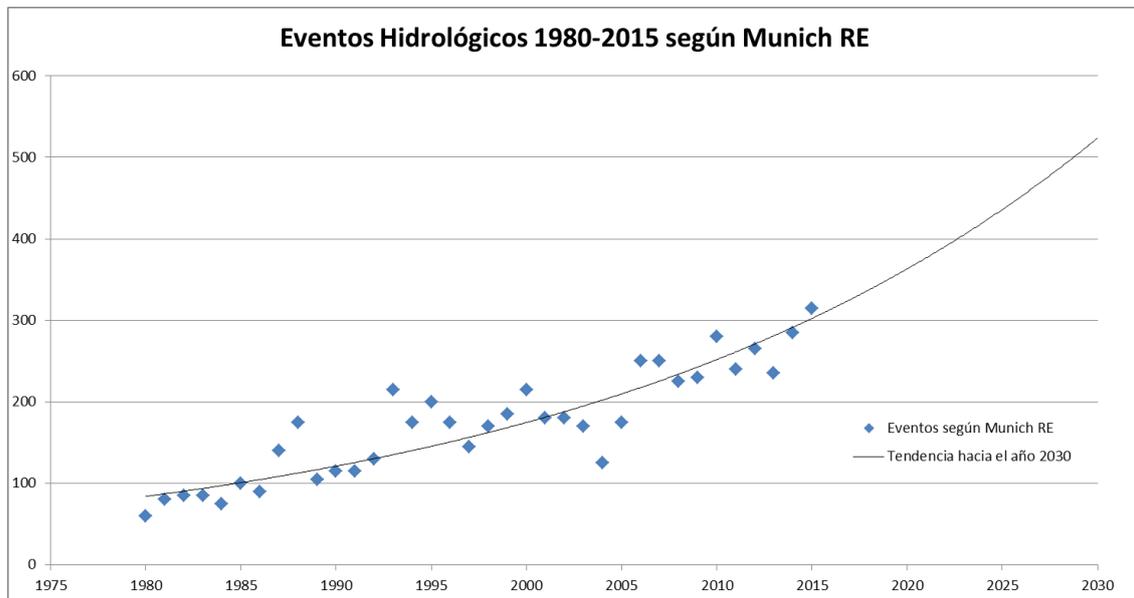


Gráfico III-7: Línea de tendencia exponencial hacia el año 2030, utilizando los datos de eventos hidrológicos de Munich RE, presentados en el Gráfico III-5.

Fuente: Munich RE

3.10. ¿La Tierra en riesgo, deslaves y lluvias torrenciales?

Durante el desarrollo de la TEG se ha evaluado debido al actual cambio climático, la posibilidad a nivel mundial de desastres relacionados con deslaves y lluvias torrenciales, lo cual constituye una rama de investigación que debe ser complementada con información de campo, de forma tal de evaluar en el futuro cercano, la posibilidad de eventos de lluvias de mayor intensidad y duración, con riesgos de deslaves a nivel mundial hacia áreas pobladas.

No se debe confundir los términos Riesgo y Amenaza. ¿Existirán amenazas en los años próximos? Bajo el análisis que se tiene, en base a los trabajos de investigación realizados por autores en todo el mundo, a través de estudios paleoclimáticos utilizando proxies, se podría decir que la relación de aumento de temperatura viene precedida por eventos de lluvias que han originado, ocultamiento de monumentos arqueológicos y modificación del relieve en general, relacionados con conformación topográficas suaves a pie de montañas, donde se han asentados poblados, que en la actualidad constituyen grandes ciudades. La posibilidad de amenazas en los próximos años, podrían ser aminorados si existieran evaluaciones previas de los efectos y control de eventos con lluvias de mayor magnitud. Sin embargo, al preguntarse ¿Se encuentran distintas partes del planeta en riesgo por lluvias de alta duración e intensidad?, debemos decir que aunque no se puede afirmar, la tendencia de dichos eventos climáticos se encuentra en aumento, y que aunado a la posible amenaza antes mencionada, el Riesgo que exista en

cada zona, dependerá directamente de su capacidad de afrontarlos, siendo algunos más vulnerables que otros.

La definición de Riesgo es igual a la Amenaza por la Vulnerabilidad (Unesco Rapca, s.f.), donde la Amenaza será la probabilidad de un evento con cierta magnitud, y la vulnerabilidad el grado de destrucción, siendo función de la magnitud del evento y el tipo de elementos bajo Riesgo. Es por esto que es importante entender que el TEG relaciona la posibilidad del aumento de la intensidad de los eventos climáticos relacionados con lluvias, no estableciendo Riesgo en sitios específicos alrededor del mundo, para lo cual se requeriría evaluar la Vulnerabilidad en distintas zonas, cuyas conformaciones topográficas tienen relación con dichos eventos climáticos en un pasado cercano.

Sin embargo, como ya se mencionó, se requieren detallar zonas específicas, donde se evalúen las propuestas que se encuentran en el TEG sobre el origen de la conformación topográfica relacionada con la variación de temperatura, así como la actual Vulnerabilidad de la zona ante posibles Amenazas, producto de cambios climáticos, tales como lluvias de alta intensidad y frecuencia, que dependiendo de cada zona, pudiesen generar saturación en las laderas, asociándose con deslaves, que afecten áreas pobladas aguas abajo.

José Luis López en su libro “Lecciones aprendidas del desastre de Vargas” (2010), ofrece una gran variedad de aportes, y aprendizajes. Sin embargo, en la zona afectada hace menos de 17 años, donde ocurrió un evento de gran magnitud a nivel mundial, la mayor parte de los cauces de ríos y quebradas se encuentran canalizados, tomando como caudales de diseño las lluvias ocurridas las cuales alcanzan hasta 792 mm de lluvia en 3 días, para períodos de retorno de 1000 años. La mayor parte de las áreas afectadas se encuentra desarrolladas urbanísticamente, ¿Qué pasaría si los eventos de lluvias fueran de mayor duración a los ocurridos?

¿Podríamos entonces afirmar que siendo Vargas una zona vulnerable, con registro de desastres de alta magnitud, se podría encontrar en Riesgo en un futuro cercano? Es importante destacar que la zona se repobló nuevamente bajo la consciencia o el conocimiento del peligro existente, y que, si bien el período de retorno de aludes en la zona, se evalúa en el capítulo de “Estimación del período de retorno de manifestaciones de aludes torrenciales en la serranía del litoral por medio de dataciones

C¹⁴ obtenidas en trinchera al pie del Ávila y por vía arqueológica en las formaciones aluviales del valle de Caracas” concluyendo que “...de acuerdo con las premisas anteriores, el período de retorno “histórico” de los eventos torrenciales más recientes del valle de Caracas, cuya edad ... podría establecerse en un valor promedio de 500 años...” (López J., 2010) debido a esto, se recomienda evaluar con carácter de alta importancia, si las repetidas manifestaciones de aludes torrenciales ocurridas en la zona, pudiesen volver a ocurrir en un período no lejano debido a altas intensidades de lluvias que se esperarían luego de picos de temperatura como los que se están registrando.

El TEG plantea que con el actual calentamiento global, existen posibilidades de lluvias de mayor intensidad y duración, después de un período de temperaturas similares a las actuales, lo cual se evidencia en la investigación preliminar realizada durante el desarrollo del mismo, en los cinco (5) sitios escogidos a nivel mundial. Las fechas de los distintos eventos de lluvias, asociados con deslaves se limitan entre los siglos XI y XIII, debiendo ser objeto de investigaciones detalladas a partir de la datación adecuada a la fecha del evento.

El actual calentamiento global, y la tendencia de aumento de eventos de lluvias en los últimos 30 años, puede relacionarse con efectos que pueden ir acentuándose, de carácter catastróficos, requiriendo de estudios a nivel mundial por las distintas dependencias ambientales de cada nación, que aminoren dichos efectos y corrijan los desarrollos urbanísticos amenazados por lluvias torrenciales, asociados a deslaves en el futuro cercano.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

- El TEG realizado es un trabajo preliminar donde se analiza la variación de temperatura en el último milenio, el cual estuvo basado en la recopilación de datos e investigaciones de distintos autores que se especializan en la historia paleoclimática a nivel mundial. Así como el inicio de investigaciones que permiten relacionar dicha información, con eventos climáticos como lluvias torrenciales y deslaves, relacionados con el ocultamiento de monumentos arqueológicos y la conformación topográfica aguas abajo del relieve montañoso.
- Los lugares investigados fueron elegidos ya que su historia de alguna forma, permite encontrar un nexo entre su desarrollo y los cambios climáticos ocurridos durante el último milenio.
- De acuerdo a la mayor parte de los autores investigados, se logran destacar 3 puntos importantes que coinciden con respecto a la variación de temperatura en el último milenio: el inicio del milenio presenta una tendencia de altas temperaturas, muy parecidas al actual calentamiento global. Seguido por un Período Cálido Medieval, que prevaleció durante el inicio del milenio hasta principios del siglo XV y por último una Pequeña Edad de Hielo entre los siglos XV y XIX, con valores muy bajos de temperatura hacia el año 1700.
- Los lugares estudiados tienen en común el tiempo aproximado de ocurrencia de afectaciones climáticas, tales como lluvias torrenciales, deslaves, que condicionaron el desarrollo de las mismas, las cuales se encuentran en un rango comprendido entre los siglos XI y XIII.
- Los gases de Efecto Invernadero y emisiones de CO₂ han podido contribuir con el proceso de “Calentamiento Global” que está ocurriendo en la tierra. Sin embargo, es probable que este fenómeno esté coincidiendo de acuerdo a los distintos autores estudiados con el posible ciclo climático que ha afectado la tierra cada 1000 años, en los últimos milenios. Se plantea la posibilidad de que la Tierra tal como se conoce puede alcanzar temperaturas como las que ocurren actualmente, sin la presencia del hombre y sus emisiones de CO₂ generadas a raíz de la Revolución Industrial. Esto no significa que las emisiones de CO₂ no contribuyan con el Calentamiento Global, sin embargo, es un indicativo de que éstas pueden no ser la razón principal del calentamiento global

- En el estudio de Munich Re, analizado en el *apartado 3.10*, relacionado con desastres naturales, se tiene una tendencia ascendente hacia el año 2030. Tal como se destaca en el **Gráfico III-5**. De mantenerse ésta tendencia se estará observando más desastres hidrológicos, asociados a lluvias de mayor intensidad y duración, con resultados tales como deslaves que pudiesen afectar a distintas poblaciones en un futuro no distante.
- Luego de picos de temperatura se observan algunas “consecuencias climáticas” que pudiesen relacionarse, tales como lluvias de mayor intensidad y duración, las cuales pueden haber sido el origen de ocultamiento de monumentos arqueológicos, y conformaciones de relieves topográficos suaves, de fácil desarrollo urbanístico en el pasado. A pesar de que su confirmación requiere de estudios más avanzados, el TEG, con lo expuesto anteriormente, genera la posibilidad de introducir dicha teoría y así abrir paso a futuras investigaciones más exhaustivas.
- La tendencia hacia el año 2030, pudiese verse afectada por el hecho previamente mencionado, al encontrarse un período de altas temperaturas como el actual, y esperarse lluvias de alta intensidad y duración, es probable que las zonas más vulnerables sufran un aumento en la tasa de desastres hidrológicos, lo cual aunado a las nuevas poblaciones al pie de monte instaladas en los últimos 200 años, podrían generar un aumento exponencial de estos desastres. Véase **Gráfico III-6** del *apartado 3.10*
- A más de 17 años de la Tragedia de Vargas 1999, las cuencas se encuentran reforestadas, sin indicios de deslaves producto de la saturación de laderas por lluvias torrenciales, con importantes obras de vialidad y urbanismo que se adaptaron a la nueva topografía conformada. Esto, es un perfecto ejemplo y punto de comparación para todos los lugares estudiados en el presente TEG, los cuales se vieron afectados igualmente por deslaves, generando ocultamientos de importantes obras construidas y que años más adelante se construyeron nuevas obras sobre ellas, sin dejar algún indicio de los desastres ocurridos en el pasado.
- De acuerdo a mediciones detalladas de temperatura desde finales del siglo XIX, se evidencian cambios de temperatura en forma progresivas cada 40 años, donde el actual calentamiento se acentúa desde 1980. Este cambio pudiera esperarse a partir del año 2020, pudiendo ocurrir dos escenarios, uno, que siga aumentando

Análisis de cambios climáticos y deslaves desde el año 1000 al 2016, y evaluación de posibles desastres a nivel mundial hacia el 2030.

la temperatura o, que descienda progresivamente a condiciones de mayor períodos de lluvias asociados a deslaves.

CAPÍTULO V. RECOMENDACIONES

- Los estudios de excavaciones arqueológicas deberían ser complementados con un análisis del origen y tipo de material sedimentario que se encuentre presente en dichos lugares, así como su procedencia, la cual posiblemente esté relacionada con condiciones climáticas tal como las lluvias torrenciales. Igualmente, se debería investigar la edad aproximada del evento, mediante la datación de carbono 14 presente entre los restos vegetales y animales de los sedimentos.
- Se recomienda fomentar a nivel mundial, una rama de investigación que relacione la conformación topográfica actual de ciudades o lugares localizadas al pie de monte, con eventos de lluvias torrenciales en el pasado y los efectos que puedan originarse con el actual cambio climático, donde lluvias de mayor intensidad y duración, puedan saturar las cuencas aguas arriba, generando problemas de deslaves.
- Generar campañas de concientización en Estados, Gobernaciones, Alcaldías, Ministerios y cualquier ente Oficial sobre desarrollos urbanos existentes aguas abajo del pie de monte, donde las posibilidades de lluvias de mayor duración e intensidad en las cuencas, se asocien a altos caudales con grandes volúmenes de sedimentos arrastrados, provenientes de deslaves, afectando parte de las áreas habitadas. Dichos efectos se pueden aminorar con la instalación de obras hidráulicas preventivas, así como la reubicación de sectores habitados de alto riesgo.
- Las naciones cuyos eventos de lluvias son noticias en la actualidad, deben tener en cuenta que existe una tendencia a corto plazo del aumento de números de eventos anuales, cuyos efectos producen pérdidas humanas y daños materiales de gran importancia. Debido a esto, es recomendable la implementación de medidas de contingencia, así como la educación necesaria en caso de la ocurrencia de desastres naturales asociados a deslaves.
- La isla de Pascua localizada en medio del océano Pacífico, puede tener una historia de sus habitantes muy relacionada con el fenómeno ENSO, cuya investigación de las edades de los suelos de cultivos, deberían ser comparadas con edades que puedan ser obtenidas de los materiales aluviales que ocultan gran parte de los cuerpos de los moais. Lo anterior, podría ubicar un período de

lluvias de gran intensidad y duración, asociados a los eventos conocidos de variación de temperatura, los cuales aparentemente tienden a repetirse cada mil años, comenzando con un alto en las anomalías de temperatura.

Bibliografía

- Agencia Internacional de Energía Atómica. (1990). *Isótopos en Estudios Climatológicos*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de Agencia Internacional de Energía Atómica: https://www.iaea.org/sites/default/files/32406880915_es.pdf
- Alley, R. (2000). *4000 Years BP*. Desconocido: Desconocido.
- Alley, R. (2000). *The Two-Mile Time Machine*. New Jersey: Princeton University Press.
- Area Ciencias. (s.f.). *Lluvia, Nieve y Granizo*. Recuperado el 28 de Marzo de 2017, de Area Ciencias: <http://www.areaciencias.com/meteorologia/lluvia-nieve-granizo.html>.
- Bahn, P., & Flenley, J. (1 de Junio de 2012). *Isla de Pascua, Isla Tierra*. Recuperado el 11 de Mayo de 2017, de Scielo: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-71942012000100008
- Barrios, M. (Reimpresión 2012). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas: FEDUPEL Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
- BARTHEL, T. (1974). *The Eighth Land: The Polynesian Settlement of Easter Island*. Honolulu: Unknown.
- Bermúdez, P. (24 de Julio de 2015). *El Foro Romano y los Foros Imperiales: qué son y cómo verlos*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de Ruta Cultural: <http://rutacultural.com/foro-romano-foros-imperiales/>
- 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/>
- Brain, M. (s.f.). *How Carbon-14 Dating Works*. Recuperado el 20 de Abril de 2017, de How Stuff Works: <http://science.howstuffworks.com/environmental/earth/geology/carbon-14.htm>

- Bustamante, P., Viguí, P., Adoue, M., & Tuki, R. (1 de Noviembre de 2008). *Rapa Iti como candidata a ser identificada como Hiva, tierra de origen del pueblo Rapa Nui*. Recuperado el 13 de abril de 2017, de Rupestre Web: <http://www.rupestreweb.info/rapa.html>
- Centro Científico Tecnológico Mendoza. (s.f.). *Datos de Indicadores Paleoclimáticos*. Recuperado el 18 de Marzo de 2017, de Centro Científico Tecnológico Mendoza: <http://www.cricyt.edu.ar/paleo/es/globalwarming/proxydata.html#up>
- Christiansen, N., & Ljungqvist, F. C. (2012). *La temperatura extra tropical del hemisferio norte en los últimos dos milenios: reconstrucciones de la variabilidad de baja frecuencia*. Sonderborg: Copernicus Publications.
- Climate Prediction Center. (2012). *What is El Niño*. Recuperado el 28 de Marzo de 2017, de Climate Prediction Center: http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensofaq.shtml#DIFFER
- Codina, M. (s.f.). *Las Siete Colinas de Roma*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de Sobre Italia: <http://sobreitalia.com/2010/03/08/las-siete-colinas-de-roma/>
- Concepto Definición . (2 de Octubre de 2016). *Definición de Climatología* . Recuperado el 20 de Mayo de 2017, de Concepto Definición: <http://conceptodefinicion.de/climatologia/>
- Convención Marco sobre el Cambio Climático. (2014). *Convención Marco sobre el Cambio Climático*. Recuperado el 30 de Marzo de 2017, de http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/antecedentes/items/6170.php
- Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París*. París: Naciones Unidas.
- Davies, B. (1 de Septiembre de 2015). *Ice Core Basics*. Recuperado el 16 de Marzo de 2017, de Antarctic Glaciers: <http://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/ice-cores/ice-core-basics/>

- Despacho Internacional de Pesos y Medidas. (Octubre de 2005). *Clarification of the definition of the kelvin, unit of thermodynamic temperature*. Recuperado el 28 de Mayo de 2017, de BIPM: <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/23/10/>
- EcuRed. (s.f.). *Brujas*. Recuperado el 20 de mayo de 2017, de [https://www.ecured.cu/Brujas_\(Ciudad\)](https://www.ecured.cu/Brujas_(Ciudad))
- Ecured. (s.f.). *Lluvia Orográfica*. Recuperado el 28 de Marzo de 2017, de Ecured: https://www.ecured.cu/Lluvia_orogr%C3%A1fica
- EFE. (11 de Noviembre de 2013). *El polen fosilizado, un mecanismo eficaz para predecir el cambio climático*. Recuperado el 17 de Marzo de 2017, de 20 Minutos: <http://www.20minutos.es/noticia/1965644/0/polen-fosil/prediccion/cambio-climatico/>
- El País. (25 de Marzo de 2011). Más de 10.000 muertos por el terremoto de Japón. *El País*.
- Enciclopedia Britanica. (s.f.). *Datación del Carbón 14*. Recuperado el 25 de mayo de 2017, de Enciclopedia Britanica: <https://www.britannica.com/science/carbon-14-dating>
- Fernández, V. (23 de Marzo de 2015). *ECOCIDIO EN LA ISLA DE PASCUA*. Recuperado el 12 de Mayo de 2017, de QUO: <http://www.quo.es/naturaleza/ecocidio-en-la-isla-de-pascua>
- Ferreras, C. (2005). *Historia del Clima Mediterráneo*. Murcia: Rústica.
- Flanders State of the Art. (s.f.). *Visit Flanders*. Recuperado el 20 de mayo de 2017, de Historia: <http://www.visitflanders.com/es/destinos/brujas/historia/>
- GARCÍA, R. (2016). *Cambio climático en la evolución de la Isla de Pascua*. Caracas: Unknown.
- García, R. (2016). Los Deslaves en la Evolución de Las Civilizaciones desde Los Romanos hasta Los Incas. *Tekhne N°18*.
- Gázquez, F. (2016). *Los espeleotemas: un archivo de información paleoambiental de los últimos millones de años*. Recuperado el 25 de Marzo de 2017, de Research Gate:

https://www.researchgate.net/publication/307978140_Los_espeleotemas_un_archivo_de_informacion_paleoambiental_de_los_ultimos_millones_de_anos_Speleothems_an_archive_of_paleoenvironmental_information_from_the_last_million_years

Geoambiental. (2015). *Formación y Tipo de Precipitaciones*. Recuperado el 28 de Marzo de 2017, de Geoambiental: <http://geoambiental22015.blogspot.com/2015/06/formacion-y-tipos-de-precipitaciones.html>.

Geoenciclopedia. (s.f.). *Deslaves*. Recuperado el 26 de Marzo de 2017, de Geoenciclopedia: <http://www.geoenciclopedia.com/deslave/>.

Gómez, A. (12 de Septiembre de 2015). *Descubierta la casa más antigua de Roma*. Recuperado el 15 de Abril de 2017, de ABC: <http://www.abc.es/cultura/20150912/abci-casa-antigua-roma-201509111751.html>

Gomez, A. (10 de Octubre de 2015). *Por Primera vez abre al Público la Rampa Imperial de Domiciano*. Recuperado el 15 de Abril de 2017, de ABC: <http://www.abc.es/cultura/arte/20151020/abci-roma-rampa-imperial-domiciano-201510201419.html>

Gómez, A. (16 de Mayo de 2016). *Descubierta una fortaleza militar de la antigua Roma en las excavaciones de una estación del Metro*. Recuperado el 17 de Abril de 2017, de ABC: http://www.abc.es/cultura/abci-descubren-restos-fortaleza-militar-roma-antigua-durante-obras-metro-201605161531_noticia.html

González, A. (s.f.). *Ubicación del Imperio Inca*. Recuperado el 4 de Mayo de 2017, de Historia Cultural: <http://www.historiacultural.com/2010/03/ubicacion-localizacion-imperio-inca.html>

Grupo Espeleológico Edelweiss. (2004). *Los Espeleotemas como Indicadores de Cambio Climático*. Madrid: Cubia.

History Channel. (7 de Mayo de 2007). *Ciudades Bajo Tierra. El Imperio Oculto de Roma*.

- 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
- I.P.C.C. (s.f.). *Palaeoclimate proxy indicators*. Recuperado el 22 de Marzo de 2017, de I.P.C.C.: <https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/068.htm>
- IMAGINA Isla de Pascua, T. (s.f.). *Imagina Isla de Pascua*. Recuperado el 23 de Mayo de 2017, de Imagina Isla de Pascua: <http://imaginaisladepascua.com/la-isla-de-pascua/isla-de-pascua-historia/>
- IPCC. (s.f.). *Preguntas frecuentes sobre el calentamiento global*. Recuperado el 20 de Mayo de 2017, de Panel intergubernamental sobre el cambio climático.: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html
- Knnett, D., Anderson, A., Prebble, M., Conte, E., & Southon, J. (2006). *Impactos humanos prehistóricos en Rapa, Polinesia Francesa*. Oregon, Polinesia y California.
- Know. (s.f.). *Zuiderzee*. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de Know: <https://www.know.cf/enciclopedia/es/Zuiderzee>
- Lonely Planet. (s.f.). *Historia de Brujas*. Recuperado el 11 de Junio de 2017, de Lonely Planet: <http://www.lonelyplanet.com/belgium/flanders/bruges/history>
- López , J. L. (2010). *Lecciones Aprendidas del desastre de Vargas*. Caracas: Gráficas Lauki.
- López, J. (s.f.). *Datación Absoluta*. Recuperado el 16 de Abril de 2017, de Academia: http://www.academia.edu/25552070/Dataci%C3%B3n_absoluta
- 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.
- María. (6 de Enero de 2011). *Mitreo de San Clemente*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de Espacios de Culto de la Antigüedad en Roma: <http://espaciosdecultodelaantiguedadenroma.blogspot.com/2011/01/la-siguiente-y-penultima-parada-en.html>

- Meteolobios. (s.f.). *Lluvia*. Recuperado el 28 de Marzo de 2017, de Meteolobios: <http://www.meteolobios.es/lluvia.htm>
- Millarium. (s.f.). *Isótopos del Agua*. Recuperado el 28 de Mayo de 2017, de Millarium: <http://www.miliarium.com/Proyectos/Nitratos/isotopos/IsotoposAgua/IsotoposAgua.asp>
- Moy, C. (2002). *Variabilidad de El Niño/Enso. Actividad de oscilación en el milenio. Escalas de tiempo durante la época holocena*.
- Muguerza Armada, A. (1999). *Aguas arriba del flujo torrencial. Un análisis geotécnico-meteorológico de la tragedia de Vargas*. Caracas: Fundación Polar.
- Mulrooney, M. (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.
- Mulrooney, M. (24 de Junio de 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.
- Mundo City. (s.f.). *Roma: La Capital Italiana*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de Mundo City: <http://www.mundocity.com/europa/roma1.html>
- Munich RE. (2016). *Eventos de pérdida en todo el mundo 1980-2015*. Munich.
- N.A.S.A. (6 de Mayo de 2005). *Paleoclimatology: The oxygen balance*. Recuperado el 15 de Marzo de 2017, de Earth Observatory - NASA: https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Paleoclimatology_OxygenBalance/
- N.O.A.A. (30 de Agosto de 2003). *Introducción a la Paleoclimatología*. Recuperado el 28 de Mayo de 2017, de NOAA: <http://www.cricyt.edu.ar/paleo/es/proxies.html>
- N.O.A.A. (s.f.). *What Are "Proxy" Data?* Recuperado el 25 de Abril de 2017, de National Oceanic and Atmospheric Administration: <https://www.ncdc.noaa.gov/news/what-are-proxy-data>
- NASA-Earth Observatory. (15 de Enero de 2006). *Brujas, Bélgica*. Recuperado el 11 de Mayo de 2017, de Earth Observatory: <https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD//view.php?id=6199>

National Geographic . (23 de Agosto de 2012). *Isla de Pascua, si los moáis hablaran*. Recuperado el 30 de Abril de 2017, de National Geographic: http://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/si-los-moais-hablaran_6272

National Geographic. (10 de Agosto de 2012). *Los moáis enterrados de la isla de Pascua salen a la luz*. Recuperado el 30 de Abril de 2017, de National Geographic: http://www.nationalgeographic.com.es/historia/actualidad/los-moais-enterrados-de-la-isla-de-pascua-salen-a-la-luz_6298

National Geographic. (9 de Octubre de 2015). *El Valle Sagrado de Los Incas*. Recuperado el 7 de Mayo de 2017, de National Geographic : http://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/el-valle-sagrado-de-los-incas_9676/1

National Geographic. (9 de Octubre de 2015). *National Geographic*. Recuperado el 7 de Mayo de 2017, de El Valle Sagrado de Los Incas: http://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/el-valle-sagrado-de-los-incas_9676/1

Organización Meteorológica Mundial. (8 de Noviembre de 2016). *El estado del clima mundial en 2011-2015:cálido y errático*. Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de Organización Meteorológica Mundial: <https://aemetblog.es/2016/11/08/la-organizacion-meteorologica-mundial-publica-un-analisis-detallado-del-clima-mundial-durante-el-periodo-comprendido-entre-2011-y-2015/>

Organización Meteorológica Mundial. (s.f.). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable*. Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de Organización Meteorológica Mundial: <http://www2.medioambiente.gov.ar/acuerdos/organismos/onu/onuomm.htm>

Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático (IPCC). (s.f.). *Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático*. Recuperado el 14 de Marzo de 2017, de Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático: <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>

- 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.
- Reid, A. (11 de Marzo de 2015). *Vienna Standard Mean Ocean Water*. Recuperado el 18 de Marzo de 2017, de Mr. Reid: <http://wordpress.mrreid.org/2015/03/11/vienna-standard-mean-ocean-water/>
- Riebeek, H. (19 de Diciembre de 2005). *Paleoclimatology: The Ice Core Record*. Recuperado el 17 de Marzo de 2017, de Earth Observatory-N.A.S.A.: https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Paleoclimatology_IceCores/
- Sanchez Laso, E. (2 de Noviembre de 2013). El polen, un mecanismo eficaz para predecir el cambio climático. Madrid, España.
- 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.
- Tragedia de Vargas Blog. (30 de junio de 2011). *Tragedia de Vargas*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, de <http://www.tragediadevargas-abigail.blogspot.com/2011/06/tragedia-de-vargas-1999-venezuela.html>
- Unesco Rapca. (s.f.). *Introducción a los conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo*. Enschede, Holanda.: ITC.
- University Corporation for Atmospheric Research. (2000). *El Niño and Global Warming: What's the Connection?* Recuperado el 29 de Marzo de 2017, de University Corporation for Atmospheric Research: <https://www.ucar.edu/communications/quarterly/winter97/connection.html>.