



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

La reconstrucción de la dinámica fluvial y su conexión con la variabilidad climática a partir de fuentes documentales y registros instrumentales

Juan Carlos Peña Rabadán

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

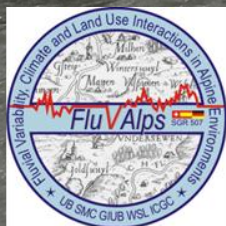
ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

La reconstrucción de la dinámica fluvial y su conexión con la variabilidad climática a partir de fuentes documentales y registros instrumentales



La reconstrucción de la dinámica fluvial y su conexión con la variabilidad climática a partir de fuentes documentales y registros instrumentales



Juan Carlos Peña Rabadán
Barcelona, 2015

AGRADECIMIENTOS

La elaboración de una tesis es una tarea larga, pero por contrapartida es un cometido que sueles hacer acompañado por muchas personas que, de un modo u otro colaboran para que el resultado final vea la luz de la manera más satisfactoria posible.

La historia empezó hace más de treinta años cuando mi familia decidió que debía estudiar una carrera. Como la economía iba justa (había que mantener a seis personas) fueron mis abuelos quienes decidieron financiar el proyecto. Bravo por ellos. En el año 1988 ocurrió un hecho fundamental: conocí a la Dra. Montserrat Jardí i Porqueras, pequeña mujer, pero grande donde las haya. Fue la que me inició en el mundo de la investigación. Fue en el año 1989 cuando Montserrat consiguió que la Facultad de Geografía formase parte del proyecto LUCDEME (Lucha contra la Desertificación en el Mediterráneo) con sede en el Servei per a la Gestió i l'Evolució del Paisatge (SGEP), rocamboloso nombre para una gran institución, liderado en su momento por la Dra. Maria del Tura de Bolòs i Capdevila y el Dr. Antonio Gómez Ortiz. Aquí fue donde en el año 1995 conocí al Dr. Lothar Schulte, e inmediatamente nos pusimos manos a la obra. Empezamos a colaborar juntos con los registros sedimentarios extraídos de Creixell (Baix Penedès, Tarragona). La buena sintonía culminó en el año 2006 cuando por iniciativa del Dr. Schulte, se inició el proyecto FluVALps-3000. Después vinieron el FluVALps-Plus y el FluVALps-Iberia, proyectos todos ellos en los que se enmarca la tesis que aquí se presenta. En el año 2014 se creó el grupo Paleo-Risk y quiero agradecer a la gente que ha participado en los proyectos: Felipe, Mariano, Marta, Marc, Jaime, Justino, Antonio Gómez Bolea, Carlos... y muchos más que han pasado por él. Al igual que a los colaboradores que me han aconsejado y ayudado como Juan Ignacio Santisteban "Santi" y Carles Balasch.

Múltiples anécdotas se pueden contar de todos estos años respecto a este grupo, desde las discusiones con Lothar (evidentemente a nivel científico) en el Departamento de Geografía Física de la Universidad de Barcelona, hasta las tertulias, científicas y no tanto, tras las cenas después de un día de duro trabajo en la campaña suiza; o también el desmadre que se generaba después de los workshops del grupo en la taberna cercana a la facultad. Gracias a todos.

Igualmente agradecer al Servei Meteorològic de Catalunya, donde entré de mano de Antonio Gázquez Picón, excelente colega y mejor amigo, en

el seno del cual se han desarrollado muchos de los métodos en la tesis aplicados, y especialmente el agradecimiento sincero a dos personas, Montserrat Aran y Núria Pérez-Zanón, que han estado indicando, aconsejando y debatiendo. Reconocer a la Universidad de Berna, concretamente a Heinz Veit, por el apoyo logístico y consejos siempre bienvenidos, y agradecer al Swiss Federal Research Institute for Forest, en concreto a Alexander Badoux, no sólo por la cesión de datos, sino también por las amenas tertulias y las recomendaciones como conocedor del tema en su tierra. Igualmente agradecer a Nadine Hilker y Norina Andres, colaboradoras de Alexander por el esfuerzo desinteresado para conseguir los datos de las inundaciones. Finalmente, no quiero olvidar al Grupo de Climatología, al Dr. Raso Nadal y al Dr. Martín-Vide por los consejos y los buenos ratos, y al Dr. Arturo Sánchez Lorenzo, con el que nos iniciamos en el mundo del análisis multivariable.

Agradecer igualmente a Carme Bolós i Cardona (gran amiga) por el apoyo y, especialmente, en las recomendaciones para la edición de esta tesis. La conozco desde que tenía muy pocos años y siempre ha estado ahí, molestando.

Pero sobre todo reconocer la paciencia de toda mi familia por haber estado apoyándome durante todos estos años (mis padres, hermanos y primos); aunque, especialmente, agradecer y reconocer la labor, la profesionalidad, el quehacer, el afán, el trabajo, la dedicación, el entusiasmo, la constancia y el saber estar en los momentos imposibles de Antonia Ortiz Valencia “Meigu”, porque sin su amor y cariño esta misión hubiera sido inverosímil.

RESUMEN

El estudio analiza los posibles vínculos entre la frecuencia de inundaciones en Suiza con la actividad solar (forzamiento exógeno), erupciones volcánicas, la variabilidad del clima y la dinámica del Atlántico Norte (forzamiento endógeno) durante los dos últimos siglos. La variabilidad de las inundaciones en Suiza para el periodo 1800-2010 se ha determinado a partir de un índice de verano de daños por inundaciones (INU). El índice considera inundaciones graves y catastróficas a partir de los inventarios existentes, que resume tanto la gravedad del evento y su extensión espacial. Se ha puesto especial atención en las diferencias entre la dinámica de inundación en las laderas norte y sur de los Alpes. La influencia del forzamiento solar en las frecuencias de inundación se investiga aplicando un análisis espectral cruzado entre el registro de las manchas solares e INU. Por último, el análisis de los vínculos entre las inundaciones y la dinámica del Atlántico Norte se centra en los patrones de variabilidad atmosférica de baja frecuencia. El clima de verano en el sector norte del Atlántico europeo muestra un patrón principal de la variabilidad de año en año, aunque este patrón es más débil que la Oscilación del Atlántico Norte en invierno y está confinado a latitudes septentrionales. Por analogía, la comunidad climatológica se refiere a este patrón como la Oscilación de Verano del Atlántico Norte (SNAO), que se define como la principal función ortogonal empírica de las anomalías estandarizadas de la presión atmosférica a nivel del mar para el dominio europeo durante los meses julio y agosto.

El índice de daños por inundación muestra evidencias que los clústeres de inundación encontrados en los periodos 1830-1851, 1881-1927, 1977-1990 y de 2005 hasta la actualidad, ocurren en su mayoría en fase con proxies paleoclimáticos y en la dinámica del Atlántico Norte. Estos episodios coinciden con los reportados para Suiza y en algunas zonas del continente europeo, como la República Checa, Italia y la mitad oriental de la Península Ibérica. Este vínculo no es tan estrecho cuando se compara con la ocurrencia de las inundaciones en Alemania. El análisis espectral cruzado entre la variabilidad solar e INU documenta que los ciclos detectados en el espectro de coherencia y en el de fase de 11 y 110 años están relacionados con una alta frecuencia de inundaciones y una actividad solar baja. Las periodicidades de los llamados "eventos de 100 años" se podrían explicar por los ciclos solares a escala centenaria, los cuales han sido también identificados en otros registros de inundaciones,

incluyendo aquellos en el este de Francia, Suiza, Países Bajos, el Reino Unido, España y California.

El análisis del modo principal de baja frecuencia de variabilidad atmosférica muestra que las cuencas fluviales suizas situadas en el centro y en el flanco sur de los Alpes, se ven afectadas por áreas de inestabilidad atmosférica definidas por la fase positiva del patrón SNAO, mientras que las cuencas ubicadas en la vertiente norte de los Alpes están asociadas principalmente con la fase negativa. Además, un cambio en el patrón de variabilidad atmosférica de baja frecuencia de circulación está relacionado con las grandes inundaciones que se produjeron en el periodo 1800- 2010: la SNAO en fase negativa prevalece durante el último pulso frío de la Pequeña Edad de Hielo (clústeres de inundación: 1817-1851 y 1881-1927), y la fase positiva de SNAO emerge durante el clima más cálido en las últimas cuatro décadas (clústeres de inundación de 1977-1990 y de 2005 hasta la actualidad).

ABSTRACT

The study analyses the possible links between flood frequency in Switzerland and solar activity (exogenic forcing), volcanic eruptions, climate variability and the North Atlantic dynamics (endogenic forcings) over the last two centuries. The variability of floods in Switzerland for the period 1800-2010 has been determined from a high summer flood damage index (INU). The index considers severe and catastrophic floods from existing flood inventories, summarizing both the severity of these events and their spatial extent. Special attention will be focused also on the differences between flood dynamics at the northern and southern slopes of the Alps. The influence of solar forcing on flood frequencies is investigated applying a cross-spectral analysis to the sunspot record and INU. Finally, the analysis of the possible links between floods and North Atlantic dynamics is focused on the low-frequency atmospheric circulation patterns. Summer climate in the North Atlantic-European sector shows a principal pattern of year-to-year variability, although this pattern is weaker than the North Atlantic Oscillation in winter and is confined to northern latitudes. By analogy the climatology community refers to this pattern as the Summer North Atlantic Oscillation (SNAO), which is defined as the main empirical orthogonal function of the standardized anomalies of the European mean sea level pressure during July and August.

The flood damage index provides evidences that the 1830-1851, 1881-1927, 1977-1990 and 2005 to present flood clusters occur mostly in phase with paleoclimate proxies and North Atlantic dynamics. These episodes coincide with those reported from Switzerland and from some areas of the European continent such as the Czech Republic, Italy and the eastern half of the Iberian Peninsula. This link is not so close when compared with the flood occurrences in Germany. The cross-spectral analysis between solar variability and INU documents that the cycles detected in the coherency and phase spectra of 11 and 110 years are related to a high frequency of flooding and solar activity minima. The periodicities of so-called “100-year events” could be explained by centennial-scale solar cycles, which have also been identified in other flood records, including those in eastern France, Switzerland, Netherlands, the UK, Spain and California.

The analysis of the principal mode of low-frequency atmospheric variability shows that the Swiss river catchments situated on the centre and southern flank of the Alps are affected by atmospherically unstable

areas defined by the positive phase of the SNAO pattern, while those basins located in the northern slope of the Alps are predominantly associated with the negative phase of the pattern. Furthermore, a change in the low-frequency atmospheric circulation pattern related to the major floods occurred for the period 1800-2010: the Summer North Atlantic Oscillation persists in negative phase during the last cool pulses of the Little Ice Age (1817-1851 and 1881-1927 flood clusters), whereas the positive phase of SNAO prevail during warmer climate of the last four decades (flood clusters from 1977-1990 and 2005 to present).

ACRÓNIMOS

α : nivel de significación estadística

\in : Pertenece a un conjunto

Σ : Sumatorio

^{10}Be : Beryllium-10

^{14}C : Carbono 14

20CRP: 20th Century Reanalysis

A: condiciones meteorológicas causantes del daño:

- **g**: tormenta
- **dr**: lluvia
- **s**: fusión de nieve
- **dr+s**: lluvia y fusión de nieve

AELE: Association Européenne de Libre-Échange

Al: Aluminio

ALP-IMP: Multi-centennial climate variability in the Alps

AMO: Oscilación Multidecadal del Atlántico

AR(1): parámetro autorregresivo de primer orden

BMU: unidad de mejor correspondencia

BP: Before present

Br: Bromo

Ca: Calcio

CHF: Franco Suizo

CIA: Central Intelligence Agency

CIRES: Climate Diagnostics Center, University of Colorado

Comp_SLP CLUn: Composiciones de los meses de julio y agosto de la EMSLP de los años que integran cada uno de los clústeres definidos por INU_{sws}

Cu: Cobre

$d(\mathbf{m}_i, \mathbf{m}_j)$: distancia euclidiana entre los vectores de pesos

$d[\mathbf{x}(\mathbf{t}), \mathbf{m}_b(\mathbf{t})]$: distancia euclidiana entre el vector de entrada y el vector de pesos

DEF: diciembre-enero-febrero

DEM: Modelo de Elevación Digital del terreno

E: Exposición al riesgo

EA: East Atlantic Pattern

EATL/WRUS: East Atlantic/West Russia Pattern

ECA&D: European Climate Assessment & Dataset project

EEUU: Estados Unidos de América

EIP: Early Instrumental Period

EMSLP: anomalías de la presión media diaria normalizada a nivel de mar

EMULATE project: European and North Atlantic daily to MULTidecadal climATE variability

ENSO: el Niño y la Oscilación del Sur

E-OBS: daily gridded observational dataset for precipitation, temperature and sea level pressure in Europe

EOF: Función Empírica Ortogonal

E-SOM: Emergent Self-Organizing Maps

ESRL/PSD: Earth System Research Laboratory Physical Sciences Division

FDHA: Swiss Federal Department of Home Affairs

Fe: Hierro

FOEN: Federal Office for the Environment (Switzerland)

fs: frecuencia

GAR: European Greater Alpine Region

GISP 2: Greenland Ice Sheet 2 Project

GNIP: Global Network for Isotopes in Precipitation

gpdm: metros geopotenciales

GRIP: Greenland Ice Core Project

$h_{bj}(t)$: función de vecindad

hPa: hectopascales

IDAweb: Base de Datos de MeteoSwiss

IMF: International Monetary Fund

INU: Índice estival de daños por inundaciones

INU_{sws}: el valor de INU integrado de Suiza

INU_{year}: valor de INU para un año determinado

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

IR: radiación infrarroja

ITCZ: Zona de Convergencia Intertropical

IVI2: Ice-core Volcanic Index 2

JJA: junio-julio-agosto;

K: Potasio

KMO: medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin

kyr: kilo-años

LIA: Pequeña Edad de Hielo (Little Ice Age)

LSFT: transformación de Lomb-Scargle Fourier

MAM: marzo-abril-mayo

MEC: Ministerio de Educación y Ciencia

MeteoSwiss: Swiss Federal Office of Meteorology and Climatology

$m_i(t)$: vectores de pesos de la SOM

mm: milímetros de lluvia equivalente a litros por metro cuadrado

- MMSC:** Marco Mundial para los Servicios Climáticos
- Mn:** Manganeseo
- MSLP:** Presión Media a Nivel del Mar
- MXD:** máxima densidad de los anillos de los árboles
- N:** conjunto de neuronas de la SOM
- NAO:** Oscilación del Atlántico Norte (North Atlantic Oscillation)
- NCAR:** National Center for Atmospheric Research
- NCEP:** National Centers for Environmental Prediction
- NCRR:** National Centre of Competence in Research Climate
- N_g:** el número de grupos contados sobre todo el disco solar
- NGRIP:** Proyecto North Greenland Ice Sheet
- NOAA:** National Oceanic Atmospheric Administration
- N_s:** el número de manchas
- °C:** grados centígrados
- OCDE:** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
- OFS:** Office fédéral de la statistique
- OMM:** Organización Mundial de Meteorología
- p:** p-valor
- Pb:** Plomo
- PCA:** Análisis de Componentes Principales
- PYME:** Pequeñas y Medianas Empresas
- QBO:** Oscilación Cuasi-Bienal
- QBO-E:** Fase del Este de la Oscilación Cuasi-Bienal
- QBO-W:** Fase del Oeste Oscilación Cuasi-Bienal
- r:** Coeficiente de correlación de Pearson
- R:** número diario de manchas solares
- R:** riesgo
- r_i, r_j:** coordenadas de las neuronas
- Rb:** Rubidio
- RCC:** Centro Regional Climático
- RPCA:** PCA Rotado
- RW:** ancho anual de los anillos de los árboles
- S:** Azufre
- S:** tipo de daños:
- **l:** inundación leve
 - **m:** inundación media
 - **s:** inundación severa
 - **vs:** inundación muy severa
 - **c:** inundación catastrófica
- SD:** desviación estándar
- SECO:** Secrétaire d'État à l'économie (Confédération Suisse)

Si: Silicio

SIDC: Solar Influences Data Analysis Center

S-mode: modo espacial del PCA

SN: sunspots

SNAO: Oscilación de Verano del Atlántico Norte (Summer North Atlantic Oscillation)

SO₂: sulfatos

SOM: Self-organizing maps

SON: septiembre-octubre-noviembre

Sr: Estroncio

ST: Tipo sinóptico

T_λ: valor empírico de contraste de la hipótesis nula

t_{λ:cc}: valor empírico de contraste de la hipótesis nula

T: Temperatura anual

t₀: inicio de la sesión de entrenamiento de la SOM

t_f: final de la sesión de entrenamiento de la SOM

Tg units: Sulfate aerosol

Ti: Titanio

Tm: temperatura media anual de Suiza en °C

TSI: Irradiancia Solar Total

U(j): U-Matrix

U: tipo de proceso que causa el daño:

- **w:** avenida
- **b:** flujo de derrubios
- **w+b:** avenida y flujo de derrubios

UE: Unión Europea

UK: Reino Unido

UV: radiación ultravioleta

V: Vulnerabilidad al riesgo

WOSA: procedimiento de Welch-Overlapped-Segment-Averaging

WSL: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research

WWF: World Wide Fund

X: conjunto de datos (vectores) de entrada a la SOM

Zr: Circonio

δ(t): función del área de influencia de cada neurona

δ¹⁸O: medida de la relación de isótopos estables ¹⁸O: ¹⁶O (oxígeno-18: oxígeno-16)

Λ: factor de aprendizaje

λ: periodo

v: radio inicial de entrenamiento

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contexto general y estado de la cuestión	2
1.2. Justificación tesis	7
1.3. Hipótesis	8
1.4. Objetivos generales y específicos	10
1.5. Estructura de la tesis	10
2. ÁREA DE ESTUDIO	13
2.1. Marco fisiográfico y socioeconómico	14
2.1.1. Generalidades	14
2.1.2. Marco fisiográfico	16
2.1.3. Marco demográfico y socio-económico	21
2.2. Factores que influyen en las grandes avenidas: orografía, clima, hidrografía y la influencia antrópica	28
3. DATOS	35
3.1. Base de datos de inundaciones en Suiza	36
3.1.1. Aspectos generales	36
3.1.2. El catálogo de inundaciones para 1800-1994 (Gees, 1997)	38
3.1.3. Periodo 1972-2010. Swiss Flood and Landslide Damage Database	39
3.1.4. Matriz de inundaciones en Suiza a resolución cantonal: periodo 1800-2010	41
3.2. Reanálisis de las configuraciones atmosféricas	44
3.2.1. NCEP/NCAR y proyecto 20 th Century Reanalysis. Periodo: 1871-2010	44
3.2.2. Reconstrucciones climáticas. Periodo: 1659-1999	45
3.2.3. Proyecto EMULATE. Reanálisis grid: 1850-2003	46
3.3. Registros instrumentales: datos de precipitación y temperatura	47
3.3.1. Rejilla a resolución diaria de precipitación a escala europea (E-OBS versión 11)	47
3.3.2. IDAweb. Base de Datos de MeteoSwiss: the Swiss Federal Office of Meteorology and Climatology	48
3.3.3. Multi-centennial climate variability in the Alps (ALP-IMP)	51
3.3.4. Las variaciones de temperatura de verano en los Alpes	52
3.4. Proxies solares y climáticos	53
3.4.1. Número medio anual de manchas solares (1700 – 2011)	53
3.4.2. Datos anuales de ¹⁰ Be: 1800-1994. NGRIP Ice Core 600 Year Annual ¹⁰ Be Data	55
3.4.3. Datos anuales de $\delta^{18}\text{O}$: 1800-1987. El GISP2 oxygen isotope record	56

3.4.4 Erupciones volcánicas durante los últimos 1.500 años: Ice-core Volcanic Index 2 (IVI2)	58
4. REGIONALIZACIÓN HIDRO-CLIMÁTICA DE SUIZA	61
4.1. Introducción	62
4.2. Métodos:Análisis Componentes Principales en modo Espacial	63
4.3. Resultados	65
4.3.1. Solución del Análisis de los Componentes Principales	65
4.3.2. Regionalización hidro-climática de Suiza	69
4.4. Discusión	70
4.4.1. Grado de precisión y aceptación del modelo aplicado. Comparación con otras regionalizaciones	70
4.4.2. Consideraciones finales	72
5. ÍNDICE ESTIVAL DE DAÑOS POR AVENIDAS E INUNDACIONES (INU)	74
5.1. Estado de la cuestión	75
5.2. Métodos. El índice INU: índice hídrico estival de daños por inundaciones	78
5.3. Resultados	80
5.3.1. Distribución mensual y anual de las inundaciones en Suiza	81
5.3.2. INU anual estandarizado: Los periodos de alta y baja frecuencia de las inundaciones	83
5.4. Discusión	84
5.4.1. Patrones espaciales en la evolución del número de inundaciones	87
5.4.2. Análisis de los periodos de alta y baja frecuencia de las inundaciones en Suiza	89
5.4.2.1. Periodos de alta frecuencia y coherencia con otras zonas de Europa	89
5.4.2.2. Análisis de los periodos de baja frecuencia	91
5.4.3. Consideraciones finales	92
6. ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS SERIES EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA	93
6.1. Introducción	94
6.1.1. Generalidades	94
6.1.2 Ciclos solares	94
6.1.3. Actividad solar, clima e inundaciones	96
6.2. Métodos	97
6.2.1. El análisis espectral univariante	99
6.2.1.1.Programa SPECTRUM: evaluación del ruido blanco	100

6.2.1.2. Programa REDFIT: evaluación del ruido rojo	101
6.2.2. El análisis espectral cruzado. El módulo de análisis espectral bivariable del programa SPECTRUM.	101
6.3. Análisis espectral de las grandes inundaciones	103
6.3.1. Análisis de INU_{SWS} : la identificación de las periodicidades significativas	103
6.3.2. El Análisis espectral cruzado entre el número medio anual de manchas solares y las grandes inundaciones	105
6.3.2.1. Consideraciones generales	105
6.3.2.2. El significado de las periodicidades comunes	106
6.4. Influencia de la variabilidad solar en las inundaciones de Suiza	108
6.4.1. Discusión de las periodicidades obtenidas	108
6.4.2. Comparación de las periodicidades obtenidas con los registros sedimentarios y los proxies climáticos	110
7. POSIBLES FORZAMIENTOS EXTERNOS EN LAS INUNDACIONES DE SUIZA	119
7.1. El uso de proxies solares y climáticos: alcance y limitaciones	120
7.2. Métodos	123
7.3. Resultados	124
7.3.1. Análisis cualitativo	124
7.3.1.1. La influencia solar: posibles relaciones entre el Berilio 10 (^{10}Be) y las inundaciones en Suiza	125
7.3.1.2. La influencia del clima: correlaciones entre el isótopo de oxígeno $\delta^{18}\text{O}$ y las inundaciones en Suiza	125
7.3.1.3. La influencia volcánica: asociaciones entre las principales erupciones volcánicas y las inundaciones en Suiza	126
7.3.1.4. Temperatura de los Alpes en base a análisis dendrocronológicos	126
7.3.1.5. La temperatura media anual de Suiza y la influencia en el índice de daños por inundaciones	128
7.3.2. Análisis cuantitativo	129
7.4. Discusión	132

8. MODOS DE VARIABILIDAD ATMOSFÉRICA EN EUROPA OCCIDENTAL (MESES DE JULIO-AGOSTO) Y SU CONEXIÓN CON INUsws	136
8.1. Introducción	137
8.2. Métodos	140
8.3. Principales modos de circulación atmosférica	141
8.4. La Oscilación de verano del Atlántico Norte	146
8.4.1. Generalidades	146
8.4.2. Posible influencia en las grandes avenidas en Suiza	152
8.5. Discusión	154
8.5.1. Viabilidad del uso de los Reanálisis y las reconstrucciones atmosféricas	154
8.5.2. Variabilidad atmosférica a gran escala e inundaciones en Suiza	155
8.5.3. Algunos ejemplos	159
8.5.3.1. Fase positiva de SNAO y eventos de inundación en Suiza	159
8.5.3.2. Fase negativa de SNAO y eventos de inundación en Suiza	162
9. PATRONES SINÓPTICOS EN EUROPA OCCIDENTAL QUE CARACTERIZAN LOS MESES DE JULIO Y AGOSTO	164
9.1. Introducción	165
9.2. Estado de la cuestión	165
9.3. Metodología: los mapas auto-organizados (Self-Organizing Maps, SOM)	168
9.3.1. Generalidades	168
9.3.2. Desarrollo metodológico	171
9.4. Resultados	176
9.4.1. Principales tipos sinópticos durante los meses de julio y agosto en Europa occidental	176
9.4.2. U-Matrix: patrones sinópticos generales	184
9.5. Consideraciones finales	190
10. PATRONES ATMOSFÉRICOS QUE INCIDEN EN LA VARIABILIDAD DE INUNDACIONES	192
10.1. Introducción	193
10.2. Mecanismos atmosféricos inducidos por los forzamientos solares y climáticos que influyen en las inundaciones	194
10.2.1. Mecanismos atmosféricos inducidos por la actividad solar	195

10.2.2. La periodicidad de 2 años detectada en INU: la Oscilación Cuasi-Bienal	200
10.2.3. Esquema atmosférico general que explica las inundaciones en Suiza	202
10.3. Análisis integral de la incidencia de la variabilidad atmosférica en las inundaciones en Suiza	204
10.4. Resultados	205
10.4.1. Composiciones de circulación atmosférica en la baja troposfera para los periodos de alta frecuencia en inundaciones	206
10.4.2. Asociación entre las composiciones (Comp_SLP CLUn) y los patrones de variabilidad atmosférica de baja frecuencia (PCA)	208
10.4.3. Tipos sinópticos (ST) de los meses de julio y agosto causantes de las inundaciones de verano en Suiza	210
10.5. Discusión	215
10.5.1. Patrones hidro-climáticos	215
10.5.2. Relación entre los mecanismos atmosféricos inducidos por la actividad solar y los patrones hidro-climáticos en Suiza	219
11. CONCLUSIONES	223
11.1. Las regiones hidro-climáticas de Suiza	224
11.2. Periodos de mayor frecuencia de inundaciones en Suiza	225
11.3. Influencia de la variabilidad solar en las inundaciones de Suiza	226
11.4. Patrones paleoclimáticos	227
11.5. Cambio de los patrones hidro-climáticos en el periodo 1800-2010 relacionados a las inundaciones en Suiza	228
11.6. Reflexiones finales	232
12. BIBLIOGRAFÍA	234

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 2.1.** **14**
 Unidades fisiográficas de Suiza. Esquema general.
 Fuente: Elaboración propia.
 Base del mapa: Swiss Topo: www.swisstopo.admin.ch/
- Figura 2.2.** **15**
 Unidades administrativas de Suiza
 Fuente:
http://www.lib.utexas.edu/maps/europe/switzerland_admin_2000.jpg
- Figura 2.3.** **16**
 Unidades estadísticas y económicas de Suiza. Los colores del mapa corresponden a cada una de las unidades representadas en tabla. Además, quedan señalados en el mapa los cantones (línea más gruesa) y los distritos (en el línea más delgada).
 Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_Switzerland
- Figura 2.4.** **17**
 Unidades fisiográficas de Suiza
 Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_Switzerland
- Figura 2.5.** **18**
 Temperatura media mensual (en °C).
 • Parte superior izquierda: Enero
 • Parte superior derecha: Abril
 • Parte inferior izquierda: Julio
 • Parte inferior derecha: Octubre
 Fuente: <http://www.meteoswiss.admin.ch/home/climate/past/climate-normals/>
- Figura 2.6.** **19**
 Precipitación media mensual (en mm).
 • Parte superior izquierda: Enero
 • Parte superior derecha: Abril
 • Parte inferior izquierda: Julio
 • Parte inferior derecha: Octubre

Fuente: <http://www.meteoswiss.admin.ch/home/climate/past/climate-normals/>

Figura 2.7. 20

Red hidrográfica de Suiza y principales cuencas de drenaje (extremo inferior derecho)

Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_Switzerland

Figura 2.8. 25

Evolución de la población de Suiza de 1970 a 2005 (número de habitantes en miles). Los datos originales proceden de la Oficina Federal de Estadística de Suiza, 2005;

Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Demographics_of_Switzerland

Figura 2.9. 26

Densidad de población por cada municipalidad. Año 2007. Unidades: habitantes por kilómetro cuadrado.

Fuente: https://en.wikipedia.org/wiki/Geography_of_Switzerland

Figura 2.10. 27

Producto Interior Bruto por habitante. Año 2011.

Fuente:

https://www.atlas.bfs.admin.ch/maps/13/de/10623_8582_8581_8580/17900.html

Figura 2.11. 32

Inundaciones con una afectación supra-regional desde el año 1800 en Suiza. La diferenciación en daño extensivo y daño muy extensivo se ha situado en 500 millones de CHF (Fuente: [Federal Office for the Environment, FOEN 2008](#)).

Figura 2.12. 33

Pérdidas anuales debidas a inundaciones, deslizamientos de tierras y flujos de derrubios. Periodo 1972-2010 (Fuente: [Federal Office for the Environment, FOEN 2008](#)).

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. **36-37**

Principales procesos relacionados con las inundaciones en los ámbitos de alta montaña (Fuente: [Federal Office for the Environment, FOEN 2008](#)).

a) Procesos predominantes en torrentes de montaña:

- Erosión vertical y lateral
- Bloqueos de vertiente
- Inundaciones dinámicas
- Flujos de derrubios

Foto: Rotlauibach cerca de Guttannen (Bern), el 24 de agosto de 2005 (Fuente: Keusen)

b) Procesos predominantes en los ríos de montaña:

- Erosión lateral
- Profundización del canal fluvial (erosión vertical)
- Elevación del canal fluvial (agradación)
- Inundaciones dinámicas
- Migración del canal fluvial

Foto: Landquart encima de Klosters (Grisons), el 25 de agosto de 2005 (Fuente: Schweizer Luftwaffe)

c) Procesos predominantes en los fondos de valle:

- Erosión lateral
- Profundización del canal fluvial (erosión vertical)
- Elevación del canal fluvial (agradación)
- Inundaciones dinámicas
- Riesgo de rotura de los diques

Foto: Río Aare cerca de Meiringen (Bern) el 24 de Agosto de 2005 (Fuente: Schweizer Luftwaffe)

d) Procesos predominantes en los lagos:

- Grandes áreas de flujo de madera
- Inundaciones estáticas

Foto: Lago Brienz el 24 de agosto de 2005 (Fuente: Schweizer Luftwaffe)

Figura 3.2. **42**

Esquema de las bases de datos que se han consultado para crear el índice INU. El coeficiente de correlación entre las dos bases de datos principales utilizadas ([Gees, 1997](#): periodo 1800-1994; y WSL: periodo 1972-2010) es de 0,9. Este coeficiente se ha calculado a partir de los INU's estimados para ambas base de datos de manera separada en el periodo común 1972-1994 (ver el capítulo 5).

Figura 3.3. 43

Extracto de la matriz para el tratamiento estadístico de las avenidas y las inundaciones. El código S se refiere a los daños, el código U al tipo de proceso que genera el evento y el código A reseña la meteorología causante del evento.

Figura 3.4. 49

Evolución temporal del número de estaciones adquiridas de IDAweb.

Figura 3.5. 50

Distribución de las 128 estaciones pluviométricas utilizadas.

Figura 3.6. 50

Extracto de la base de datos de precipitación (unidades en mm) a partir de los registros obtenidos de IDAweb (Meteoswiss).

Figura 3.7. 51

Proyecto ALP-IMP. área de estudio: *European greater Alpine region* (GAR) en el centro del dominio.

Fuente: <http://www.zamg.ac.at/ALP-IMP/>

Figura 3.8. 53

Fuente original: Büntgen et al., (2006).

A) Estimación de la actividad solar (línea de color verde; Crowley 2000) y número de manchas solares números (línea de color azul; Usoskin et al 2003).

B) Reconstrucción de la temperatura alpina basada en el MXD (línea de color roja; Büntgen et al., 2006) y en base al RW (naranja; Büntgen et al 2005).

C) Reconstrucciones de temperatura a gran escala (línea de color azul, Esper et al 2002; línea de color verde, Moberg et al 2005; y línea de color verde oscuro, D'Arrigo et al 2006).

El sombreado amarillo señala los mínimos solares más destacados (Stuiver y Braziunas 1989).

Figura 3.9. 54

Número de manchas solares anuales (periodo 1701-2011). Se ha aplicado un filtro gaussiano de paso bajo de 11 años (línea continua roja).

Figura 3.10. **56**
Datos anuales de ^{10}Be del testigo de hielo “NG 97-S2” (periodo 1400-1994). Se ha aplicado un filtro gaussiano de paso bajo de 22 años (línea continua roja).

Figura 3.11. **57**
Registro anual de $\delta^{18}\text{O}$ contenido en la precipitación (en tanto por mil) versus temperatura anual (por debajo de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Mediciones realizadas en la Antártida y para el clima actual.
Fuente: [Jouzel et al., 1994](#).

Figura 3.12. **58**
Datos anuales del isótopo $\delta^{18}\text{O}$ obtenidos del proyecto Greenland Ice Sheet 2 (periodo 900- 1986). Se ha aplicado a la serie un filtro gaussiano de paso bajo de 22 años (línea continua roja).

Figura 3.13. **60**
Inyección anual en la estratosfera de aerosoles volcánicos (sulfatos) en los últimos 1500 años para el Hemisferio norte (arriba), Hemisferio Sur (centro) y global (abajo).
Fuente: [Gao et al., 2008](#).

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. **66**
Parte superior: Cargas factoriales del Factor 1 frente al Factor 2 después de la aplicación de la PCA sin rotación a la matriz de inundaciones.
Parte inferior: Las tres zonas fisiográficas de Suiza junto con la distribución de los cantones.

Figura 4.2. **67**
Interpretación del Factor 1. Definición de los dos ámbitos climáticos básicos de Suiza: el Mediterráneo, al sur de los Alpes y el Atlántico, en la vertiente norte de la cordillera.

Figura 4.3. **68**
Interpretación del Factor 2. influencia menor/mayor de las dos fuentes de humedad que afectan Suiza y por tanto indicando el grado de continentalidad.

Figura 4.4. **69**

Scree-test y el número de componentes seleccionados (círculo azul). Se representa el número de componentes (eje de las abscisas) y los valores propios del análisis (eje de las coordenadas).

Figura 4.5. **70**

Regionalización de Suiza de acuerdo con el PCA aplicando la rotación Equamax. Las líneas de puntos son los límites de las regiones hidro-climáticas (Modelo de Elevación Digital, DEM, procedente del [Atlas de Suiza, 2004](#); mapa modificado).

Figura 4.6. **72**

Comparación de los resultados obtenidos con otras clasificaciones de las regiones de Suiza.

- Parte superior de la imagen: las regiones hidro-climáticas definidas por Schmocker y Naef (2010) junto con las principales regiones fisiográficas que constituyen Suiza.
- Parte inferior: clasificación propuesta por [Peña et al., 2015](#) a partir de un Análisis de Componentes principales.

CAPÍTULO 5

Figura 5.1. **75**

Evolución de los daños por inundaciones en el periodo 1972-2007 (teniendo en cuenta la inflación).

Fuente:

<http://www.wsl.ch/forschung/forschungsprojekte/schadendatenbank/damage72-07>

Figura 5.2. **81**

Distribución cantonal de las inundaciones de categoría VS y C en el periodo 1800-2010.

Figura 5.3. **82**

A) Distribución mensual de las inundaciones en Suiza de categoría muy grave (VS) y catastrófica (C) para el periodo 1800-2009.

B) Distribución estacional de las inundaciones de categoría VS y C. DEF: diciembre-enero-febrero; MAM: marzo-abril-mayo; JJA: junio-julio-agosto; SON: septiembre-octubre-noviembre.

Figura 5.4. 84

A) Índice de daños por inundaciones regionalizado en Suiza para el período 1800-2010.

B) Valores de INU que han superado 1,5 veces la desviación estándar. Los periodos con alta frecuencia de las inundaciones se encuentran sombreados en gris.

Figura 5.5. 88

Evolución temporal la acumulación (a resolución decadal) de las inundaciones (en %) para cada región: las frecuencias acumuladas se obtienen sumando las frecuencias absolutas de los años. La línea negra indica la bisectriz del cuadrante donde la distribución sería perfecta.

CAPÍTULO 6**Figura 6.1.** 104

Parte superior. Análisis armónico de INU. La línea representa el nivel crítico para la prueba de Siegel. Las frecuencias significativas se muestran en años. Parte inferior. Modelo autorregresivo de primer orden de INU para la evaluación del ruido rojo. La línea muestra el nivel de falsa alarma del 99,6%.

Figura 6.2. 105

Análisis armónico del número medio anual de las manchas solares. Las dos líneas horizontales representan los niveles críticos para las pruebas de Fisher y Siegel. Se destacan las frecuencias significativas y los principales ciclos solares.

Figura 6.3. 107

Análisis espectral cruzado entre INU y el número anual de manchas solares. Parte superior: Espectro cruzado. Las frecuencias significativas están etiquetadas en años. Parte central: Espectro de coherencia. La línea indica el nivel de falsa alarma para $\alpha = 0,1$. Parte inferior: espectro de fase. El signo de los datos INU se ha cambiado antes del análisis a fin de evitar un desplazamiento de fase artificial de $\pm 180^\circ$. Los ángulos negativos indican que la frecuencia máxima en las inundaciones se produce durante actividad solar mínima y viceversa.

Figura 6.4. 109

Evolución temporal del Número de manchas solares (1700-2010) suavizada con un filtro gaussiano de 22 años. El filtro señala los ciclos Gleissberg (aprox. 98 años) indicando tres ciclos en los últimos 310

años. Se resaltan las fases de baja actividad solar (color azul) y de alta actividad solar (color rojo). Finalmente, se señalan los periodos de INU > 2,5 SD (color amarillo).

Figura 6.5. **111**

Geología de la cuenca superior del río Aare y DTM del valle de Hasli. Los puntos negros en el DTM indican la ubicación de los testigos sedimentarios analizados. Fuente original: [Schulte et al., 2015](#).

Figura 6.6. **113**

Comparación de a) el registro procedente de los testigos de hielo procedentes de Groenlandia (GISP2; Stuiver et al, 1997) y b) las puntuaciones del Factor 1 del registro sedimentario AA-02 (ver figura 6.6) para el periodo 2600-1600 años cal AP. Los valores negativos (clima frío y alta frecuencia de inundaciones) se señalan por líneas discontinuas. Máximos y mínimos de las dos series ($\delta^{18}\text{O}$ y Factor 1) se marcan con las letras "a" a "ad". c) Se representa las puntuaciones del Factor 2 para la comparación. Fuente original: [Schulte et al., 2015](#).

Figura 6.7. **114**

Comparación entre las inundaciones históricas del Hasli-Aare, el registro de paleo-inundaciones, la variabilidad solar, la actividad volcánica y proxies climáticos (Periodo: 1300-2010). Fuente original: [Schulte et al., 2015](#).

- a) Media móvil centrada de 40 años de Irradiación Solar Total ([Steinhilber et al., 2012](#)) y la inyección anual de aerosoles de sulfato volcánico a la estratosfera, referidos al hemisferio norte ([Gao et al., 2008](#)).
- b) Anomalías de temperatura del verano (filtro de paso bajo gaussiano de 13 años) en los Alpes reconstruidas a partir de las series dendrocronológicas ([Büntgen et al., 2006](#)).
- c) Anomalías de precipitación de primavera (filtro de paso bajo gaussiano de 13 años) en los Alpes reconstruidas a partir de las series dendrocronológicas ([Büntgen et al., 2006](#)).
- d) Proxy de paleoinundaciones de la llanura deltaica del río Aare en el Valle de Hasli ([Lothar et al., 2015](#)): puntuaciones del Factor 1 y niveles de inundación de grano grueso de inundación (uFS = limosa de arena fina; fS = arena fina; mS = arena media).
- e) Cronología de las principales inundaciones del río Aare (valle de Hasli a partir de evidencias documentales, arqueológicas y geomorfológicas).

Los triángulos representan los daños de la iglesia Sankt Michael causadas por el río Alpbach (Meirengen).

Figura 6.8. **116**

Análisis espectral del Factor 1 (Schulte et al., 2015). La línea discontinua de color negro en la figura superior es el nivel de significación del test de Siegel. La línea discontinua de color azul es el nivel de falsa alarma del 99,6%. Se destacan en color rojo los picos espectrales significativos en años.

CAPÍTULO 7

Figura 7.1. **127**

Evolución temporal de Tg (volcanismo) y las anomalías estandarizadas de $\delta^{18}\text{O}$, ^{10}Be , manchas solares, temperatura de verano en los Alpes suizos y INU >1.5 SD para el período 1800-2010. Todas las series se han normalizado y suavizadas con un filtro de paso bajo gaussiano de 11 años, excepto el registro manchas solares suavizado con un filtro de 22 años. El índice de INU está sin filtrar. Los períodos de alta frecuencia de las inundaciones están marcados en el gráfico. Las escalas del $\delta^{18}\text{O}$ y manchas solares están invertidas.

Figura 7.2. **129**

Evolución temporal de las anomalías estandarizadas de INU $>1.5\text{SD}$ y la temperatura media anual de Suiza (línea discontinua) para el período 1800-2010, esta última se halla normalizada con un filtro gaussiano de paso bajo de 11 años.

CAPÍTULO 8

Figura 8.1. **139**

Diferentes mecanismos meteorológicos y climatológicos que promueven inundaciones, operando a diferentes escalas temporales y espaciales. Fuente: Hirschboeck, 2009.

Figura 8.2. **142**

Análisis de Componentes Principales.

Izquierda: Scree-Test y KMO para las dos rejillas de SLP utilizadas.

- Luterbacher reconstruction: Período 1659-1999.
- 20CRP: Período: 1871-2010.

Derecha: Varianza explicada por cada componente.

Figura 8.3. **142**

Análisis de Componentes Principales.

Matriz de Correlación (parte superior) y coeficientes de la Regresión Lineal (parte inferior: a, pendiente; b, intercepción) entre las dos rejillas (Luterbacher grid (L(Cn)) y 20CPR (R(Cn)) para el periodo común 1871-1999, con el objetivo de estimar los patrones temporales para el periodo 1800-2010. La significación estadística de las tendencias de cada uno de los modos en base al test Man-Kendall.

Figura 8.4. **143**

Análisis de Componentes Principales.

Modos principales de variabilidad atmosférica para el Atlántico Norte durante los meses de julio y agosto. Los colores rojo/azul señalan las correlaciones (entre 1 y -1) positiva/negativa con respecto el patrón.

Figura 8.5. **149**

Oscilación del Atlántico Norte de verano (SNAO)

A) Patrón de la SNAO basado en el principal EOF extraído a partir del PCA en S-Mode aplicado a la matriz de covarianza para el periodo 1871-2008. Se ha aplicado a los datos aportados por el proyecto 20th Century Reanalysis de las anomalías mensuales de presión media reducida a nivel del mar, ponderada a partir de la raíz cuadrada de la latitud, para el dominio 30°N-70°N; 30°W-30°E y con una resolución espacial de 2° latitud x 2° longitud. Unidades expresadas en hPa. Las anomalías positivas aparecen rotuladas en color rojo, mientras que las negativas aparecen en azul. Se resalta la isolínea de 0 hPa.

B) Igual que A) pero para la reconstrucción de Luterbacher et al. (2002) para el periodo 1659-1999.

C) Composición del patrón temporal del SNAO para el periodo 1800-2010 suavizado por un filtro gaussiano de 11 años. La línea roja señala la tendencia del SNAO (tendencia significativa y positiva al nivel de confianza del 95% (p-valor=0.007).

Figura 8.6. **150**

Oscilación del Atlántico Norte para el mes de julio.

Fuente original:

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/teledoc/telecontents.shtml>

- Figura 8.7.** **151**
SNAO versus AMO. Ambas series se presentan con un filtro gaussiano de paso bajo de 25 años. Periodo 1861-2010. Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/>
- Figura 8.8.** **153**
INU_{SWS} versus SNAO. Los puntos rojos representan SNAO+ mientras que los azules son SNAO-.
A) INU_{SWS} > 5,0 SD
B) INU_{SWS} > 0,0 SD
- Figura 8.9.** **156**
Relación SNAO y INU_{SWS}.
 - Izquierda: Composites de EMSLP de los años con SNAO en fase positiva y INU_{SWS} > 0 (>2.5). Las rejillas utilizadas son las 20CRP y Luterbacher et al. (2002). Unidades en hPa. Contornos rojos (azules) muestran anomalías positivas (negativas).
 - Derecha: Número de inundaciones en porcentaje por región.
- Figura 8.10.** **157**
Relación SNAO y INU_{SWS}.
 - Izquierda: Composites de EMSLP de los años con SNAO en fase negativa y INU_{SWS} > 0 (>2.5). Las rejillas utilizadas son las 20CRP y Luterbacher et al. (2002). Unidades en hPa. Contornos rojos (azules) muestran anomalías positivas (negativas).
 - Derecha: Número de inundaciones en porcentaje por región.
- Figura 8.11.** **160**
Evento del 18 y 19 de julio de 1987. Configuración sinóptica del día 17 de julio de 1987. Las líneas blancas representan la presión en superficie (hPa) mientras que los colores muestra la altura geopotencial a 500 hPa (metros geopotenciales, gpdm).
- Figura 8.12.** **160**
Evento del 18 y 19 de julio de 1987. Los puntos azules indican daños debidos a inundaciones, mientras que los rojos los daños se deben a flujo de derrubios.
Fuente: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL
http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/HEX/projekte/schadendatenbank/karten/grossereignisse/index_EN

Figura 8.13. **161**

Evento del 21 y 22 de agosto de 2005. Configuración sinóptica del día 21 de agosto de 2005. Las líneas blancas representan la presión en superficie (hPa) mientras que los colores muestra la altura geopotencial a 500 hPa (metros geopotenciales, gpm).

Figura 8.14. **162**

Evento del 21 y 22 de agosto de 2005. Los puntos azules indican daños debidos a inundaciones, mientras que los rojos los daños se deben a flujo de derrubios.

Fuente: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL

http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/HEX/projekte/schadendatenbank/karten/grossereignisse/index_EN.

Figura 8.15. **163**

Evento del 8 y 9 de agosto de 2007. Configuración sinóptica del día 21 de agosto de 2005. Las líneas blancas representan la presión en superficie (hPa) mientras que los colores muestra la altura geopotencial a 500 hPa (metros geopotenciales, gpm).

Figura 8.16. **163**

Evento del 8 y 9 de agosto de 2007. Los puntos azules indican daños debidos a inundaciones, mientras que los rojos los daños se deben a flujo de derrubios.

Fuente: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL

http://www.wsl.ch/fe/gebirgshydrologie/HEX/projekte/schadendatenbank/karten/grossereignisse/index_EN.

CAPÍTULO 9

Figura 9.1. **171**

Distribución de los datos de la muestra y las neuronas de la SOM en una topología bidimensional. Los dos elipses representan los dos factores principales en el caso de utilizar un PCA, mientras que los dos puntos negros serían los clústeres calculados a partir de un *K-Means*.

Fuente: Hewiston y Crane (2002). Imagen retocada por Vicent Altava (2012).

- Figura 9.2.** **172**
Proceso de entrenamiento y aprendizaje de la red neuronal a partir del algoritmo básico de la SOM en base a un conjunto de datos definidos por vectores de entrada.
Fuente: [Hewiston y Crane \(2002\)](#). Imagen retocada por Vicent Altava (2012).
- Figura 9.3.** **174**
Esquema básico de conexiones laterales implícitas de excitación e inhibición entre las neuronas.
Imagen original: Vicent Altava (2012).
- Figura 9.4.** **181**
SOM 5 x 7 de las anomalías de presión reducida a nivel del mar para los meses de julio y agosto (sin unidades) a escala sinóptica en el dominio europeo.
Los colores azules son anomalías negativas de presión mientras que los rojos señalan anomalías positivas.
- Figura 9.5.** **182**
SOM 5 x 7 de las anomalías de temperatura al nivel geopotencial de 850 hPa para los meses de julio y agosto (en °C) a escala sinóptica en el dominio europeo.
Los colores azules son anomalías negativas de temperatura mientras que los rojos son anomalías positivas.
- Figura 9.6.** **183**
SOM 5 x 7 de las anomalías de altura geopotencial a 500 hPa para los meses de julio y agosto (en metros) a escala sinóptica en el dominio europeo.
Los colores azules señalan anomalías negativas de presión mientras que los rojos son anomalías positivas.
- Figura 9.7.** **185**
Parte superior:
U-Matrix estandarizada. Se indican las neuronas escogidas para la clasificación. Colores azules indican fondo de los valles y los amarillos son los puntos culminantes de la topografía.
Parte inferior:
La Representación 3-D de la U-Matrix. Se señalan las neuronas escogidas para la clasificación.

Figura 9.8. **186**

Parte superior: SOM 5x7 de EMSLP para el dominio europeo. Los clústeres de neuronas están indicados por los polígonos de diferentes colores.

Parte inferior: Matriz neuronal donde aparecen los distintos clústeres de neuronas.

Figura 9.9. **187**

Bloqueo anticiclónico

Figura 9.10. **187**

Bloqueo anticiclónico mediterráneo

Figura 9.11. **188**

Anticiclón Atlántico

Figura 9.12. **188**

Oscilación de Verano del Atlántico Norte

Figura 9.13. **189**

Dipolo Oeste (altas presiones)/Este (bajas presiones)

Figura 9.14. **189**

Baja Atlántica.

Figura 9.15. **190**

Circulación zonal.

CAPÍTULO 10

Figura 10.1. **197**

Esquema de los procesos involucrados en la amplificación de la señal del acoplamiento entre la atmósfera y el océano Pacífico en relación a los años caracterizados por un máximo solar. (Fuente original: [Gray et al., 2010](#)).

- Figura 10.2.** **201**
Sección tiempo-altura geopotencial del componente zonal del viento mensual medio (ciclo estacional eliminado), para el periodo 1954-2012. Los colores rojos representan la fase QBO-W mientras que los azules es la fase QBO-E.
Fuente original: www.geo.fu-berlin.de/en/met/ag/strat/produkte/qbo
Los puntos verdes son las cuatro últimas grandes inundaciones registradas en Suiza.
- Figura 10.3.** **205**
Esquema metodológico para evaluar la incidencia de los patrones atmosféricos en las inundaciones en Suiza, distinguiendo las metodologías utilizadas para la determinación de los patrones de variabilidad atmosférica de baja y alta frecuencia para una ulterior integración.
- Figura 10.4.** **206**
Composites de anomalías de presión estandarizada a nivel del mar (sin unidades) de los años que participan en cada periodo de inundación. Colores azules indican anomalías de presión negativa, mientras que los rojos señalan anomalías positivas. La línea gruesa muestra la isolínea 0.
- Figura 10.5.** **209**
Composites de EMSLP (Comp_SLP) junto con el correspondiente patrón de variabilidad atmosférica de baja frecuencia (PCA), el análisis de tendencia (test de Mann-Kendall) y el patrón de precipitación correspondiente a los años involucrados en cada cluster de inundación.
- Figura 10.6.** **211**
Tipos sinópticos (ST) causantes de las inundaciones muy graves y catastróficas en Suiza. Se han seleccionado aquellos tipos que correlacionan con Comp_SLP $CLUn \geq 0,5$. En color verde los tipos sinópticos con un coeficiente de correlación positivo más alto.
- Figura 10.7.** **213**
Patrones de precipitación de los dos tipos sinópticos principales para cada Comp_SLP (en la parte izquierda de la figura) junto con el patrón de precipitación medio (en la parte central de la figura) y la tendencia (en la parte derecha de la figura).
- Figura 10.8.** **216**
Patrones hidro-climáticos que inciden en las inundaciones de Suiza (Peña et al., 2015). Parte izquierda y derecha de la figura muestra las

configuraciones atmosféricas y pluviométricas asociadas junto con el análisis de tendencia. La parte central de la figura señala la evolución decadal del número de inundaciones para cada región (ver capítulo 5). Se señalan la Fase A (Patrón Atlántico) y la Fase B (Patrón Mediterráneo en función del aumento de las funciones. Destacar la fase con ausencia de este fenómeno entre 1930 y 1977.

Figura 10.9.

221

Comparación entre las inundaciones históricas del Hasli-Aare, el registro de paleo-inundaciones, la variabilidad solar, la actividad volcánica y proxies climáticos (Periodo: 1300-2010). Figura original en [Schulte et al. \(2015\)](#).

- f) Media móvil centrada de 40 años de Irradiación Solar Total ([Steinhilber et al., 2012](#)) y la inyección anual de aerosoles de sulfato volcánico a la estratosfera, referidos al hemisferio norte ([Gao et al., 2008](#)).
- g) Anomalías de temperatura del verano (filtro de paso bajo gaussiano de 13 años) en los Alpes reconstruidas a partir de las series dendrocronológicas ([Büntgen et al., 2006](#)).
- h) Anomalías de precipitación de primavera (filtro de paso bajo gaussiano de 13 años) en los Alpes reconstruidas a partir de las series dendrocronológicas ([Büntgen et al., 2006](#)).
- i) Proxy de paleoinundaciones de la llanura deltaica del río Aare en el Valle de Hasli ([Lothar et al., 2015](#)): puntuaciones del Factor 1 y niveles de inundación de grano grueso de inundación (uFS = limosa de arena fina; fS = arena fina; mS = arena media).
- j) Cronología de las principales inundaciones del río Aare (valle de Hasli a partir de evidencias documentales, arqueológicas y geomorfológicas. Los triángulos representan los daños de la iglesia Sankt Michael causadas por el río Alpbach (Meirengen).

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 6

- Tabla 6.1.** **117**
Comparativa de las periodicidades de las series temporales paleoclimáticas, los proxies de inundación en el valle de Hasli (Schulte et al., 2015) y el índice de daños por inundaciones en Suiza (INU).
(1) Reimer et al. (2004)
(2) Steinhilber et al. (2012)
(3) Stuiver et al. (1997)
(4) Luterbacher et al. (2002)
(5) Büntgen et al. (2011)
(6) Peña y Schulte (2014)

CAPÍTULO 7

- Tabla 7.1.** **129**
Valores medios de las anomalías estandarizadas de ^{10}Be , $\delta^{18}\text{O}$ y Tm para cada una de las categorías de INU. Las categorías están definidas en función de un umbral de superación definido a partir de la SD. Además, se muestran el número de años involucrados en la fase positiva (+) o en la fase negativa (-).

CAPÍTULO 8

- Tabla 8.1.** **153**
Principales parámetros estadísticos de la SNAO para cada una de las categorías de INU. Los umbrales de cada categoría se han definido en base a la desviación estándar (SD).

CAPÍTULO 9

- Tabla 9.1.** **177**
Tipos sinópticos de los meses de julio y agosto para el sector occidental del continente europeo.

Tabla 9.2. **185**

Matriz de correlación entre las neuronas elegidas para la clasificación y las 35 neuronas que conforman la red neuronal.

En color aparecen las correlaciones significativas. El color naranja (coeficiente de correlación de Pearson igual a 1 indicando que se correlaciona la misma neurona) y el color amarillo (las neuronas con coeficiente de correlación de Pearson significativo en cada clúster). La última columna indica el clúster ganador.

CAPÍTULO 10

Tabla 10.1. **208**

Coeficiente de correlación espacial de Pearson entre los modos principales de variabilidad atmosférica (PCA) y los composites de los años correspondientes a los periodos de inundación (Comp_SLP CLUn). Los valores en rojo indican la significación estadística (p-valor). Las celdas marcadas en color amarillo señalan los patrones que tienen una correlación positiva y estadísticamente significativa (p-valor = 0.00).