

Desarrollo de un modelo de análisis y evaluación de los procesos de degradación ambiental en la puna causados por las oscilaciones climáticas, basado en información satelital.

Autor:

Maggi, Alejandro Esteban

Tutor:

Barrera, Daniel F.

Natenzon, Claudia

2021

Tesis presentada con el fin de cumplimentar con los requisitos finales para la obtención del título Doctor de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires en Geografía.

Posgrado



FILO:UBA
Facultad de Filosofía y Letras

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS U.B.A.

**“DESARROLLO DE UN MODELO DE ANÁLISIS Y
EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE
DEGRADACIÓN AMBIENTAL EN LA PUNA
CAUSADOS POR LAS OSCILACIONES
CLIMÁTICAS, BASADO EN INFORMACIÓN
SATELITAL”.**

Doctorado de Geografía:

Ing. Agr. Alejandro Esteban Maggi

Director: Dr. Daniel F. Barrera

Consejera: Dra. Claudia Natenzon

2021

INDICE

Contenido

INDICE.....	1
ACRÓNIMOS	4
Sección 1.....	6
Capítulo 1.....	6
1. Introducción	6
1.1 Estado de la Cuestión.....	8
1.2 Relevancia	12
1.3 Marco Teórico	14
1.4 Tesis. Hipotesis y Objetivos. Formulación del problema a investigar. 18	
1.5 Contenidos.....	21
1.6 Fuentes	33
Sección 2.....	37
Capítulo 2.....	37
2.1. Introducción.....	37
2.2. Caracterización climática de la región NOA y de La Puna. Regímenes de precipitación y de viento.	37
2.2.1. El monzón sudamericano y su influencia sobre la precipitación en el Noroeste Argentino y en La Puna.....	37
2.2.2. Transición climática del Pacífico (TCP). Relación con saltos climáticos observados en el sur de Sudamérica en la década de 1970.....	39
2.2.3. El Niño - Oscilación del Sur y sus impactos conocidos sobre la Puna.	40
2.2.4. Vientos y rafagosidad en la Puna.	41
2.3. Relieve, suelo y vegetación.....	45
2.4. Cubierta vegetal	52
Capítulo 3.....	57
3.1. Introducción.....	57
3.2. Área de estudio en el marco de la región NOA y datos pluviométricos utilizados.	58
3.3. Construcción de las series temporales de precipitación acumulada para la detección de saltos climáticos.....	60
3.4. Análisis exploratorio de saltos climáticos y de la permanencia de los cambios en la precipitación.....	62
3.4.1. Detección estadística de saltos climáticos.....	62
3.4.2. Determinación estadística de la significancia de los cambios en las series de precipitación.	63

Falta los sub items en el indice

3.4.3. Estudio de tendencias recientes de la precipitación en la región NOA.....	63
3.5. Resultados.....	63
3.5.1. Detección de saltos climáticos en la región NOA.....	64
3.5.2. Significancia estadística de los cambios hallados a partir de los saltos climáticos.....	66
3.5.3. Tendencias recientes de la precipitación en la región NOA.....	68
3.6. Conclusiones del Capítulo 3.	70
Capítulo 4.....	71
4.1. Introducción.....	71
4.2. Metodología desarrollada.	71
4.3. Resultados	76
4.4. Conclusiones del Capítulo 4.	87
Capítulo 5.....	88
5.1. Introducción.....	88
5.2. Desarrollo metodológico en relación a la TCP y a las fases del fenómeno ENOS.....	89
5.2.1. Relaciones de la precipitación en el NOA con las fases del ENOS y la TCP.....	89
5.2.2. Relaciones de la precipitación en la Puna con las fases del ENOS y la TCP.....	89
5.3. Resultados	89
5.3.1. Resultados para la región NOA.....	89
5.3.2. Resultados para La Puna.....	90
5.3.3. Análisis de la serie temporal de precipitación para Abra Pampa.	96
5.4. Conclusiones	100
Capítulo 6.....	101
6.1. Las lagunas centrales de Sudamérica, el ENOS y la variación de la superficie de la laguna Pozuelos.	101
6.1.1. Introducción Lagunas.....	101
6.1.2. Metodología	102
6.1.3. Resultados	106
6.1.4. Conclusiones del Capítulo 6. Parte 1.....	116
6.2. Cobertura vegetal, NDVI y las oscilaciones climáticas.....	117
6.2.1. Introducción NDVI.....	117
6.2.2. Metodología	118
6.2.3. Resultados	119
6.2.4. Conclusiones del Capítulo 6. Parte 2.....	131
Capítulo 7.....	136

7.1. Introducción.....	136
7.2 Erosión Hidrica	137
7.2.1 Erosividad R de Abra Pampa.....	138
7.2.2 Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos comparando estepas arbustivas y gramíneas representativas de la Puna de Jujuy.	141
7.3. Erosión Eólica. RWEQ	147
7.4 Conclusiones Capítulo 7.	167
Capítulo 8.....	168
Capítulo 8. Cartografía de las áreas afectadas, no afectadas y susceptibles de ser afectadas, por erosión hídrica y eólica de suelo causadas por la variabilidad climática originada en el fenómeno ENOS. Mapeo los niveles de amenaza de DT.....	168
8.1 Introducción.....	168
8.2. Los procesos de EH Y EE	168
Erosión Hídrica.....	168
8.3. Erosión de suelos variación espacial y los cambios de nivel de afectación causada por la oscilación climática	177
8.3.1 Erosión hídrica USLE	177
8.3.2. Erosión eólica RWEQ	191
8.4. Cartografía Erosión de suelos en la Puna de Jujuy por fase ENOS. ...	209
8.4.1 Erosión Hídrica USLE por fase ENOS.	209
8.4.2 Erosión Eólica RWEQ por fase ENOS.....	212
8.4.3 Erosión hídrica y eólica combinada. Alternancia de ciclos secos y húmedos.....	217
8.5. Conclusiones del capítulo 8.	220
Capítulo 9.....	221
9.1 Introducción.....	221
9.2. Características socioeconómicas y ambientales de las tierras secas especialmente en la Puna	221
9.3. Indicadores de la situación socioeconómica de las poblaciones por departamento de la Puna de Jujuy.	226
9.4. Relación entre la degradación de las tierras por erosión, ENOS y la población de la Puna de Jujuy	237
9.4.1. Erosión hídrica (EH), ENOS y su relación con el contexto social...	237
9.4.2 Erosión eólica (EE), ENOS y su relación con el contexto socioeconomico	242
9.5. Predicciones y propuestas	248
9.6 Conclusiones del capítulo 9.....	259
9.7. Síntesis de avances, logros y alcances de la tesis	259

ACRÓNIMOS

- ANOVA** Analysis Of Variance
AP Abra Pampa
CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
CV Cobertura vegetal (vegetación)
CV Coeficiente de variación (estadística)
DE Devio Standart
DEF diciembre, enero y febrero
DNT Degradación neutral de las tierras
DT Degradación de las tierras
EC energía cinética
EE Erosión eólica
EH Erosión hídrica
EMA Estación Meteorológica Automática
EN El Niño
ENOS El Niño oscilación del sur (el acrónimo original en inglés es ENSO)
FAO Food and Agriculture Organization
FAUBA Facultad de Agronomía UBA
FyL UBA Facultad de Filosofía y Letras UBA
GCCP Global Precipitation Climatology Project
HS Hemisferio Sur
IGN Instituto Geográfico Nacional
INDEC Instituto Nacional de Estadística y Censos
INMET Instituto Nacional de Meteorología de Brasil
INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
LN La Niña
LQ La Quiaca
LSD Least significant difference
M Monzón (estación lluviosa)
MAM marzo, abril y mayo
MAYDS Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina
MEI Multivariate ENSO Index
MODIS Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
MS Materia seca (vegetación)
MS Monzón Sudamericano (clima)
NA Niña
NDVI Normalized Difference Vegetation Index (Índice de vegetación diferencial normalizado)
NE Neutro
NO Niño
NOA Noroeste Argentino
O Objetivo

O-A Período Octubre Abril
ONDTyD Observatorio Nacional de la Degradación de Tierras y Desertificación
ONG Organización No Gubernamental
ONI Oceanic Niño Index
PP Precipitación
PPNA Productividad Primaria Neta Aérea
R Erosividad (clima)
R Ajuste de regresión (estadística)
RWEQ Revised Wind Erosion Equation
SENAMHI Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia
SLM Sustainable Land Management
SMN Servicio Meteorológico Nacional de Argentina
SOI Southern Oscillation Index
SON septiembre, octubre y noviembre
SRTM Shuttle Radar Topography Mission
TCP Transición Climática del Pacífico
UBA Universidad de Buenos Aires
UNCCD United Nations Convention to Combat Desertification
UNCED United Nations Conference on Environment and Development
UNISDR Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres
USDA United States Department of Agriculture
USLE Universal Soil Loss Equation
WEQ Wind Erosion Equation

AGRADECIMIENTOS

A mi Director Dr. Daniel Barrera en su orientación para abordar la investigación del clima de la Puna. A mi Consejera Dra. Claudia Natenzon, no solo siempre me acompañó sino también colaboró en el área geográfica y guiándome y corrigiendo en la aplicación de la teoría social del riesgo. A la Profesora Clara Movia quien me inspiró en la visión holística, la aplicación de la fotointerpretación y su experiencia en regiones áridas. Al Ing. Agr. Felix Fernandez quien me acompañó en los trabajos de laboratorio. A la Dra. Celeste Saulo Directora del Servicio Meteorológico Nacional Servicio Meteorológico Nacional. Al Lic. Marcelo Valverde Intendente del Monumento Natural de la Laguna de los Pozuelos de APN y su equipo, al Ing. Agr. Marcelo Echenique Director de la EEA INTA Abra Pampa y especialmente al Ing. Agr. Eduardo Ochner que siempre me ayudó y a los Agrónomos Rita Cartagena y Julio Sardina de la SAF de La Quiaca. A quienes me alentaron en la FAUBA durante el desarrollo de mi tesis.

A mi esposa Marcela y mis hijas María Belén y María Cecilia que siempre me acompañaron y alentaron en este desafío.

Sección 1

Capítulo 1

Capítulo 1. Marco teórico conceptual, hipótesis y objetivos.

1. Introducción

La palabra paisaje fue introducida a comienzos del siglo XIX por Alexander von Humboldt, como término geográfico científico. Este pionero de la geografía física y la geobotánica lo definió como el carácter total de una región terrestre. La ecología del paisaje tuvo sus raíces en Europa Central, donde los biogeógrafos consideraron al paisaje no solamente en su valor estético, como lo hacen muchos arquitectos paisajistas; o como parte del medio físico, como la mayoría de los geógrafos físicos. Es por ello que un avance de este concepto fue realizado por el geógrafo alemán (Carl Troll, 1971) quien como biogeógrafo definió al paisaje como una entidad total espacial visual del espacio vivo humano, integrando la geósfera con la biósfera y sus artefactos noosféricos. El estudio de la ecología del paisaje y los cambios en el mismo, forman parte de las ciencias asociadas a la Geografía (Naveh y Lieberman, 1994 y Zonneved, 1994). En 1957 un eminente ecólogo norteamericano pionero en el enfoque holístico de la ecología del paisaje, propuso incluir el término ecología humana, que no solo se relaciona con la geografía humana sino también con la antropología, la agricultura, la sociología, la silvicultura y la historia (Dansereau, 1957). Es así como observamos un avance del estudio de la geografía desde lo estético hacia lo biofísico hasta lo sociocultural y económico, demostrando ser una ciencia multidisciplinaria y holística.

Desde sus inicios el desarrollo de los sensores remotos y los sistemas de información geográfica, fueron incorporados con éxito en varias ciencias y en particular en los estudios de Geografía (American Society of Photogrammetry 1968). En las últimas décadas se han incrementado los estudios de Geografía que utilizan estas herramientas, relacionados con cambios ambientales, en particular sobre la degradación y desertificación de las tierras, utilizando información satelital (del Valle y otros, 1998; Espoz y otros 2002; Verón y otros, 2006; Bai and Dent, 2008; Metternicht y otros, 2009). A partir de estas metodologías se han hecho estudios de caracterización de la Puna jujeña (Marlenko, 1988; Movia y Navone, 1994; Navone, 1993, 2006) y de la Puna catamarqueña (Borgnia y otros, 2006). Algunas propiedades de los suelos y su variación temporal y espacial pueden ser establecidas mediante el análisis de la información satelital (Ben-Dor y otros, 2009). Los sensores a bordo de los satélites, tanto activos como pasivos, permiten el análisis de la degradación de las tierras (DT) y el estudio de la propagación o el retroceso de los procesos de desertificación ocasionados por erosión eólica en escalas espaciales y temporales que abarcan grandes áreas y largos períodos de tiempo (Paisley y otros, 1991; Blumberg, 1998; Blanco y otros 2007; Yan, 2009; del Valle y otros 1998 y 2010). Asimismo, se ha aplicado con éxito la complementariedad de la teledetección óptica y de radar de resolución media en diversos estudios como por ejemplo el monitoreo de los

macrosistemas de humedales sudamericanos (Salvia y otros, 2009). Por otra parte, los estudios de campo son una parte esencial de un programa de evaluación de dichos procesos, ya que proporcionan los datos de validación y permiten hacer un seguimiento de cambios en la cobertura vegetal (CV) y la erosión del suelo (Wessels y otros, 2007). Desde el punto de vista ecológico, se realizó un perfil de América donde como sistemas complejos se describen las características iniciales de estos ecosistemas en comparación con los de otros continentes (Morello, 2002). Los ecosistemas, las tierras y los paisajes son sistemas complejos y en ellos los elementos no son separables, y por ello no pueden ser estudiados aisladamente (García, 2006).

La DT que conlleva a la desertificación y es considerado un proceso complejo, para abarcar esta complejidad se requiere considerar por lo menos cuatro dimensiones, que permiten rescatar la diversidad de situaciones y causas, y darle orden a la complejidad. Estas dimensiones se sintetizan en cuatro palabras clave: peligrosidad, exposición, vulnerabilidad, incertidumbre. La caracterización de cada una de ellas requiere conocimientos diferentes. Todos ellos y sus interrelaciones permiten caracterizar, anticipar, prever y mitigar el riesgo (Natenzon, 2003). Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Teoría Social del Riesgo

DIMENSIONES	CONOCIMIENTO NECESARIO
PELIGROSIDAD Potencialidad	Aspectos físico - naturales del evento o proceso natural desencadenante.
EXPOSICIÓN Impacto material	Aspectos territoriales y poblacionales (número de personas, bienes); su distribución territorial.
VULNERABILIDAD Estructuras sociales	Aspectos socioeconómicos comprobables del estado antecedente de los grupos sociales involucrados.
INCERTIDUMBRE Percepción, decisiones	Aspectos políticos y de percepción de los grupos sociales involucrados. Valores e intereses en juego.

Fuente: Natenzon 2003

La exposición del lugar, que involucra tanto el riesgo biofísico (la exposición potencial) como la respuesta social (resistencia y resiliencia social a los eventos peligrosos) pero dentro de un área específica o dominio geográfico. Esto puede referir al espacio geográfico dónde están localizados la población y los lugares vulnerables, o al espacio social, quiénes en esos lugares son más vulnerables (Cutter, 1996). En un análisis del riesgo, la exposición se reconoce como producto no sólo de la vulnerabilidad social sino de su relación con el potencial peligroso que tienen todos los procesos y las configuraciones del entorno, incluyendo en ello tanto a los aspectos naturales como aquellos producidos por la sociedad (Natenzon, 1998).

En este estudio se hizo foco fundamentalmente al entorno físico de la geografía, al riesgo biofísico a la DT específicamente por erosión, pero sus resultados serán discutidos considerando cómo afecta al entorno social donde ellos ocurren. Es por ello que todas las investigaciones dirigidas al estudio de la desestabilización del medio natural y su consiguiente necesidad de conservación pertenecen al área del conocimiento de la Geografía y se requieren como una parte inicial del análisis de territorio y su incidencia en la vulnerabilidad social del mismo.

1.1 Estado de la Cuestión

1.1.1. Presentación

El Altiplano Andino es una región distintiva de Sudamérica por sus características geográficas particulares. En su extremo sudeste se ubica el área de la Puna perteneciente al territorio argentino donde se encuentra la zona de estudio de este trabajo de tesis: la Puna Jujeña.

En el planeta las oscilaciones climáticas regionales son cada vez más intensas y ellas han sido y sigue siendo motivo de estudio de los climatólogos, siendo el fenómeno de variabilidad climática ENOS, con su fase cálida (El Niño) y su fase fría (La Niña), uno de los de mayor relevancia por los cambios observados en su intensidad y duración. A su vez, como inducen los procesos de los cambios ambientales, entre ellos la desertificación, pueden ser iniciados o acelerados por la variabilidad climática (Pickup, 1998). En el marco del cambio climático, los escenarios futuros indican que los mayores impactos negativos están asociados a la variabilidad interanual de las precipitaciones. En dicha variabilidad se destaca la impronta del fenómeno natural denominado El Niño- Oscilación del Sur (ENOS) (Troup, 1965), caracterizado por lapsos de fases cálida (El Niño), fría (La Niña) y neutra (Trenberth, 1997). La recurrencia de estas fases es irregular (no presenta ciclos regulares) y también la duración e intensidad de las mismas es cambiante (Trenberth y Caron, 2000). El inicio de cada fase se presenta con anomalías climáticas en el Océano Pacífico ecuatorial occidental (Barnston y otros, 1997). Dichas fases afectan el clima de muchas regiones del planeta (Díaz y otros, 2001), incluso muy alejadas de esa región ((Vuille y otros, 2000; Ambrizzi y otros, 2004; Plisnier y otros, 2000; Anyamba y Tucker, 2005) y lo hacen de diferente forma. Estudios realizados con datos pluviométricos de algunas localidades de Perú y Bolivia, sobre la relación entre la fase cálida (El Niño) del fenómeno ENOS y la precipitación en el Altiplano Sudamericano, informan que las lluvias son en general menores durante dicha fase (Francou y Pizarro, 1985; Ronchail, 1995; Garreaud y Aceituno, 2001).

Por otra parte, el índice normalizado de vegetación Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) guarda una estrecha relación con las precipitaciones y ha sido extensamente utilizado en el estudio de la evolución de distintas comunidades vegetales. A su vez, las lluvias se perfilan como el principal factor causal en la dinámica de la vegetación, pero también las plagas pueden causar variaciones del NDVI que no se deben a las lluvias y esto hace que dicho índice no revele en forma precisa la marcha de las precipitaciones en el corto plazo (de uno a varios meses). Por otra parte, las tendencias del NDVI a largo plazo pueden deberse a modificaciones en la cobertura vegetal (CV) debidas a factores humanos, tales como cambios en el uso de la tierra, la explotación de los recursos naturales, las estrategias de producción y los esfuerzos de conservación. Es por ello que se requieren estudios de campo en sitios seleccionados para contribuir a la comprensión de los procesos y las causas del funcionamiento en contextos locales particulares (Herrmann, 2005 a).

En la ecoregión de la Puna la ganadería extensiva, es el principal medio de subsistencia de los pobladores donde la disminución del porcentaje de cobertura

vegetal (CV) es uno de los indicadores que mejor explica el proceso de desertificación. La CV está asociada a la alta carga animal; el 61.8 % de las explotaciones tienen una carga superior a la receptividad de la zona. La principal actividad productiva es la ganadería extensiva y la misma está basada en especies exóticas (vacas, ovejas y cabras) aunque en menor proporción se practica la cría de camélidos (Maccagno, 2004). En los departamentos que conforman la Puna y quebrada de Humahuaca, se concentra el 93% de los ovinos, el 84% de los caprinos y el 100% de las llamas de la provincia de Jujuy (Echenique, y otros 2014). El 87% de las existencias totales de las distintas especies ganaderas se encuentran en manos de productores familiares. Si solo consideramos la Puna jujeña, y si se analizan las existencias por especie y tipo de productor, los ovinos (88%), caprinos (94%) y llamas (89%) son manejados casi exclusivamente por productores familiares (Obschatko, y otros, 2006). La otra fuente de afectación de la CV es la extracción de leña, ya que en el 86% de los pobladores encuestados utiliza leña y tola como combustible (Maccagno, 2004).

En la Puna jujeña puede construirse una línea de base ambiental a partir de numerosos trabajos publicados (Cabrera, 1958; Ruthsatz, y Movia, 1975; Navone, y otros, 1996, 2006; Maggi, y otros, 2002, 2005 y 2009; Borgnia y otros, 2006; Sánchez y otros, 2009; Tálamo y otros, 2010). Se puede encontrar una excelente recopilación de trabajos realizados a campo en el libro "Ecoregiones y complejos ecosistémicos argentinos" (Morello y otros, 2012).

En Argentina se han realizado estudios preliminares sobre el fenómeno ENOS y sus efectos en algunas geoformas de la Puna (Maggi y otros, 2005, 2009). Sin embargo, hasta la presente investigación no se había demostrado la incidencia del ENOS sobre los cambios ambientales, en particular la degradación de las tierras (DT) en la Puna Jujeña.

Los cambios de los patrones de precipitación inducidos por las condiciones de El Niño/ La Niña han tenido efectos significativos en la producción de biomasa en muchas regiones del planeta. A modo de ejemplo, puede consultarse el trabajo de Anyamba y Tucker (2005) sobre lo ocurrido en tierras áridas y semiáridas de África. Por otro lado, las sequías asociadas a los fenómenos ENOS provocan la degradación mediante la reducción de la cubierta vegetal por debajo del nivel ya impuesto por el pastoreo, de modo que se incrementan las pérdidas de suelo por las erosiones hídrica y eólica (Warren y Khogali, 1992; Ravelo, 2011).

Además, a partir de mediados de la década de 1970 se ha observado que los eventos El Niño son más frecuentes e intensos, y lo contrario sucede con los eventos La Niña (Trenberth y Stephaniak, 2001; Wolter y Timlin, 2011). Estos cambios, tal vez relacionados con la denominada "Transición climática del Pacífico" (TCP) ocurrida en 1976/77 (Namias, 1978), podrían causar procesos de DT en ciertas regiones (Tsonis y otros, 2005). Por otra parte, el cambio climático global, inducido por las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero también está afectando los desiertos. Estos se han calentado entre 1976 a 2000 a una tasa promedio de 0.2 - 0.8 °C/década: con un aumento general de 0.5-2 °C, mucho más que la temperatura global promedio del aire en superficie que aumentó 0.45°C. Dicho aumento se ha atribuido al incremento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (Griggs, y Noguera, 2002). Se espera que el calentamiento global induzca un aumento general de las precipitaciones; pero en las latitudes altas se proyecta más calentamiento que en las latitudes medias y bajas, lo que resulta en más lluvias en latitudes más altas (Trenberth y otros, 2007).

La erosión eólica es un factor importante de degradación de la tierra, especialmente en zonas secas, y ha sido abordado por investigadores en Australia quienes desarrollaron un modelo (AUSLEM AUStralian Land Erodibility Model) para la identificación de las zonas susceptibles a la erosión eólica por efecto de El Niño/La Niña, el monzón de verano, y las condiciones climáticas que prevalecen durante los meses de invierno (Webb y otros, 2006).

Existen condiciones predisponentes a la erosión eólica en la región de la Puna y estas varían en su intensidad todos los años. A su vez, los clastos que se encuentran en diferentes ambientes geomorfológicos son de varios tipos. Las planicies onduladas pueden estar cubiertas por clastos pulidos por el viento donde este se ha llevado el material pequeño y liviano, quedando los de mayor tamaño y formando los clásicos pavimentos de desierto, en los derrubios de ladera son de bordes agudos y en los sitios de desborde de torrentes estacionales son de gran tamaño frecuentemente con rodados.

Los mecanismos de erosión y sedimentación que se pueden encontrar en los distintos paisajes son:

1. Relieve Montañoso

En Abra Pampa las acumulaciones de arena cubren los faldeos de los cerros vecinos y alcanzan cotas de hasta 4300 m. Los cerros que delimitan los bolsones desde Pozuelos, exhiben esta característica cada vez con más frecuencia a medida que nos desplazamos hacia el sur de la región.

2. Formas Estabilizadas Antiguas de Transición Sub-montañosa

La acción del viento en los lugares más desprotegidos, se caracteriza por la remoción del horizonte A del suelo y el transporte de arena suelta que se acumula contra la vegetación, formando montículos de 10 a 30 cm de altura.

3. Formas Recientes de Transición Sub-montañosa

Los suelos de fácil desagregación, preferentemente arenosos, ofrecen poca resistencia a la acción erosiva del agua y el viento. La CV rala, ofrece poca protección de los suelos sueltos, que con facilidad son arrastrados por el viento, formando bancos y montículos contra las playas y en lugares sin protección, médanos dinámicos en continuo avance y crecimiento.

4. Bajadas

La mayor amplitud del cauce con definición de una llanura aluvial, determina acciones locales de relleno y remoción, con aporte de sedimento de origen aluvial en época de lluvias y acciones eólicas en los meses secos sin lluvia.

5. Llanuras Aluviales y/o Fondo de Bolsones

La erosión eólica es activa, la falta de cobertura permite al viento remover con facilidad el suelo desfloculado, transportando partículas a veces a zonas próximas y otras a distancias mayores, formando bancos de médano protuberantes (Vorano y otros, 2002).

En la época en la que predominan los vientos erosivos el sobrepastoreo de los pastizales naturales provoca verdaderos focos de erosión eólica. En las épocas de lluvias, en estos "peladales" se observa una rápida formación de surcos y cárcavas debido a las características de los suelos y las pendientes sumados al factor antrópico. Estas condiciones provocan la desertificación, que como consecuencia producirá un mayor éxodo de la población local (Navone y Maggi, 2011).

En el año 1998 un estudio de Navone, pudo identificar las distintas unidades cartográficas con presencia de erosión eólica en la región de la cuenca del río Miraflores.

El campo de arena, los conos aluviales y los cauces secos, en invierno antes del inicio del monzón, son las geoformas donde se estimó un mayor grado de pérdida de suelo por erosión eólica, mientras que los glaciares y plano aluvial son los que presentan los menores valores. Resultados similares se observan en el informe presentado al Observatorio Nacional de Degradación de las Tierras y Desertificación (ONDTyD) (Maggi y otros, 2017)

Los vientos en la Puna manifiestan velocidades que pueden producir erosión eólica, existen evidencias de ocurrencias de tormentas de polvo y está documentado según la ubicación en el paisaje que parte del proceso domina y hasta se ha podido estimar su magnitud. También existen modelos como la WEQ (Wind Erosion Equation) que se pueden aplicar a nivel regional utilizando las herramientas de percepción remota y GIS. Es interés de este estudio demostrar la vinculación entre el proceso de erosión eólica y las oscilaciones climáticas en particular con el fenómeno ENOS, en la Puna jujeña.

1.1.2. El impacto de la precipitación sobre las comunidades vegetales, los cuerpos de agua y degradación de las tierras de la Puna.

Los cambios en la cobertura vegetal, las variaciones en los cuerpos de agua y la ocurrencia de erosión del suelo han sido relacionados, en forma separada, con el fenómeno ENOS mediante el uso de imágenes satelitales. A modo de ejemplo se citan estudios hechos en el continente africano (Plisnier, 2000); Anyamba y otros 2002 y 2005; y en Argentina (Maggi y otros 2009). Sin embargo, aún no se ha desarrollado un modelo integral de análisis y evaluación que considere varios de los múltiples factores y procesos biofísicos intervinientes en forma conjunta: cambios en la CV, erosión hídrica y/o eólica, alcalinidad y salinidad edáfica, entre otros.

Aunque se han realizado algunos intentos para observar las relaciones entre el ENOS y la vegetación (Washington-Allen, 2008), no está suficientemente claro cuáles son la intensidad y duración de los eventos El Niño y La Niña que modifican los distintos ambientes puneños y mucho menos los umbrales que los afectan en forma significativa y tal vez irreversible. Maggi y otros (2005, 2009, 2010 y 2011) obtuvieron resultados preliminares sobre las variaciones en la extensión de las lagunas y sobre los cambios observados en las distintas comunidades de vegetación en la Puna, mediante información derivada de imágenes satelitales, pero se requiere más estudios.

En este marco contextual, se necesita conocer los posibles impactos de la TCP y los efectos diferenciales de las fases opuestas del ENOS (El Niño y La Niña) sobre las condiciones y procesos ambientales señaladas. La información que generó este estudio no existía, logro y permitirá predecir escenarios futuros y establecer mecanismos de atenuación y mitigación de los efectos negativos provocados por los eventos climáticos extremos sobre las condiciones ambientales, particularmente en los ambientes más frágiles y aquellas zonas sujetas a una fuerte presión antrópica. De esta manera se busca comprender mejor los cambios ambientales que se producen por oscilaciones climáticas y como afectan a las diversas comunidades vegetales.

Estas variaciones tendrán impacto socioeconómico, especialmente en la ganadería extensiva, y cuyo origen ocurren por procesos naturales.

Hasta el presente no existían trabajos, en el marco de un sistema de información geográfica y de un modelo de análisis y evaluación, que permitan identificar los efectos de El Niño / La /Niña sobre los procesos determinantes de la DT en la Puna. Hay pocos trabajos que han elaborado índices que relacionen al fenómeno ENOS con la precipitación en la estación lluviosa de la Puna. Tampoco se conocía qué magnitud deben alcanzar los eventos cálidos y fríos del ENOS para expresarse en cambios ambientales en la Puna. Todavía era incierto con qué retraso dichos eventos se manifiestan en la PPNA de la vegetación puneña, la cual puede estimarse mediante indicadores ambientales tales como el NDVI que se obtiene a partir de imágenes satelitales.

Si bien existen varios autores estudiaron la degradación de las tierras erosión en la Puna jujeña Navone, (1996 y 1998); Vorano y otros (2002); Navone y otros (2006 y 2011) y Maggi y otros (2017), no existían antecedentes que la vinculen con las oscilaciones climáticas y en particular con el ENOS.

No existían modelos de detección precoz de los efectos de la variabilidad climática en la Puna Jujeña, lo que podría lograrse utilizando imágenes satelitales y SIG.

1.2 Relevancia

Los ecosistemas brindan la posibilidad de producir bienes y servicios imprescindibles para la vida (Millenium Assesment, 2005). Dentro de éstos últimos se puede citar los de regulación, como por ejemplo de los cursos de agua; de soporte, por ejemplo los necesarios para las actividades productivas; aquéllos relacionados con el esparcimiento y los valores estéticos, culturales y religiosos, que cada población le da a los recursos que posee; por último se puede mencionar a los servicios de provisión, referidos principalmente a la disponibilidad de bienes y el acceso a los mismos por parte de los pobladores; dentro de éstos se encuentra la provisión de recursos genéticos, los alimentos y fibras y el agua dulce. En estos ecosistemas frágiles, con lluvias variables influenciados por el fenómeno ENOS se observaron fuertes y abundantes lluvias seguidas de sequías extremas en pocos años (Ezcurra, 2006; Maggi et al, 2009).

Adicionalmente, la transculturación producida por la globalización ha empobrecido a los habitantes y se constata que, en gran medida, los abordajes sobre riesgos y paisajes oscilan entre la naturalización de la apropiación y uso de la naturaleza (y de las prácticas socioculturales) y la invisibilización de la naturaleza (Castro y Zusman, 2009). Asimismo, la desertificación ha causado una disminución de la productividad de esas tierras y la seguridad alimentaria está en peligro (UNCCD, 2011). El ENOS podría estar influyendo en la desertificación y esta última afecta en estas tierras fundamentalmente los servicios de regulación, soporte y provisión que brindan los ecosistemas. La disminución de la cantidad y calidad de los servicios que un ecosistema brinda a la comunidad que habita en ellos, como así también a la sociedad en su conjunto, genera no solamente pérdidas ambientales sino también económicas, las cuales presentan impactos a diferentes escalas. Una gran cantidad de

indicadores de la desertificación para Latinoamérica, fueron probados y publicados (Abraham y otros, 2003). Por ello es importante analizar los cambios ambientales relacionados con la DT y su relación con el fenómeno ENOS de forma de generar información para la toma de decisiones a nivel local y regional que permitan la implementación de medidas de conservación o mitigación durante la ocurrencia de dicho evento.

El uniformismo, hunde sus raíces filosóficas en la antigüedad, pero fue refinado y popularizado por científicos británicos de los siglos XVIII y XIX, especialmente James Hutton, John Playfair, Charles Lyell y William Whewell quien acuñó ese término, actúa como hipótesis regulativa en todas aquellas ciencias que tratan con el pasado, cuyo objeto de estudio se encuentra más allá del alcance de la observación directa, es decir lo que ocurrió en el pasado se explica por lo que sucede en el presente y es un principio muy usado en geomorfología. En esta tesis y realizando una analogía con el uniformismo, los resultados observados en la DT por la erosión en el pasado reciente debido a las oscilaciones del clima y con énfasis en El ENOS, permitieron desarrollar una metodología de monitoreo con un análisis del clima de un periodo más prolongado incluyendo el pasado más largo y de este modo poder predecir escenarios futuros. Se demostró una conexión causal entre las oscilaciones climáticas, en particular el fenómeno ENOS y la DT, que sirve como instrumento para las predicciones sobre la desertificación en la puna.

La fragilidad de los desiertos y en particular en la región de La Puna frente a estos cambios, pueden acarrear efectos sobre la productividad y degradación del sistema que son desconocidos. Las imágenes satelitales a través de datos indirectos nos permite realizar un monitoreo en áreas frágiles como éstas, caracterizadas por ser extensas y de difícil acceso. Las variaciones espacio temporales podrán ser incorporadas a un modelo que permita predecir escenarios futuros.

Además, la densidad humana en las áreas rurales de la Puna no supera 1,7 hab. km⁻², encontrándose las mayores densidades en la puna de Jujuy (0,7 - 1,5 hab. km⁻²), disminuyendo en Salta y Catamarca (0,1 hab. km⁻²). De acuerdo al censo 2010 los departamentos de Yavi, Cochino, Santa Catalina, Rinconada y Susques poseen 7.1, 1.6, 0.9, 0.4 y 0.4 hab. km⁻² respectivamente Censo de población y vivienda 2010, INDEC. En su mayor parte la población rural es de raíz indígena (Paz, 1991). Como ocurre en muchas áreas de Argentina, la tendencia de las poblaciones rurales de estas provincias es la que emigra hacia los principales centros urbanos, **mostrando** una tendencia de crecimiento negativa. En la región andina, la migración por búsqueda de trabajo y/o estudio, representa una de las estrategias de supervivencia para los habitantes rurales (Reboratti, 2007). La ruptura del esquema socio-económico tradicional y la destrucción de las economías regionales producen drenaje permanente de población tanto masculina como femenina hacia las ciudades. Sin embargo, contrariamente a lo que podría pensarse, cuando las situaciones son de extrema pobreza se dificulta la migración o no la estimula (Forni, 1990).

Por otra parte, se necesita considerar la historia ambiental, que es la disciplina que intenta registrar la historia del hombre en el paisaje. Su objeto es la interacción cultura-ambiente en un período dado y analiza entre otras variables, la dinámica evolutiva de los ecosistemas naturales cuyos ciclos – como las fluctuaciones climáticas- pueden establecer limitaciones al desenvolvimiento de las sociedades (Abraham y otros, 2006); Pirola, M. (2014); Yacobaccio, (2014). Estas podrían repetirse en tiempos más recientes. Así mismo, el estudio y monitoreo del ENOS

permite analizar los cambios ambientales que ocurren en cada fase. Se realizó un eje comparativo espacio-temporal en el subsistema físico natural, para analizar los procesos actuales verificables con observación directa y la interpretación de imágenes satelitales, para la elaboración de cartografía temática.

Es universalmente aceptado y científicamente probado, que la disminución de la CV, incrementa los efectos de los procesos determinantes de la DT, principalmente las erosiones hídrica y eólica (FAO, 1984). Del mismo modo que la detección precoz de las variaciones climáticas y su seguimiento permite predecir escenarios futuros, sus efectos en los cambios de productividad de los ecosistemas y de su sustentabilidad pueden cambiar la valorización del estado y velocidad del proceso de desertificación con su consecuente impacto en la pobreza y migración de las poblaciones.

Anterior a esta investigación no se había desarrollado una metodología de monitoreo de la DT para poder predecir escenarios futuros en la Puna de Jujuy. Se logró demostrar una conexión causal entre las oscilaciones climáticas causadas por el ENOS y la DT, que sirve como instrumento para las predicciones sobre la desertificación en la Puna. Para coadyuvar a este fin, se analizaron los resultados observados disponibles de la DT en el pasado reciente, con énfasis en la erosión de los suelos y se investigó asimismo la relación posible entre la DT y las oscilaciones del clima.

De esta forma, primero se obtiene la configuración territorial que se la entiende como la distribución e interrelación de los componentes naturales y sociales en un momento determinado y contextualizado dentro del proceso histórico de producción del territorio. Luego su seguimiento permitirá predecir su implicancia en los cambios de productividad de los ecosistemas y de su sustentabilidad, así como la valorización del proceso de desertificación con su consecuente impacto en la pobreza y migración de las poblaciones.

La tesis contribuye a la comprensión de los efectos de El Niño y La Niña sobre la DT y su variabilidad espacio temporal en la Puna. Asimismo, se logra identificar los momentos y umbrales de algunos indicadores biofísicos determinados a partir de imágenes satelitales que permitan predecir los cambios sobre la desertificación. Los resultados sirven de insumo en futuros estudios más complejos que incluyan la configuración territorial actual y las relaciones entre la sociedad y el terreno en un enfoque totalizador.

1.3 Marco Teórico

Aproximadamente el 50% del territorio continental argentino está afectado por clima árido con menos de 400 mm de precipitación anual y en consecuencia no existen posibilidades de practicar agricultura en seco. Sus tierras se destinan preferentemente a la explotación de sus pastizales naturales con ganado doméstico (bovino, ovino, caprino y camélido). El NOA no escapa a esta realidad. La palabra Puna en quechua significa tierra alta o pampa elevada y es una de las mesetas de gran extensión que se encuentra a mayor altitud en el mundo después del Tibet. Los pobladores de la Puna basan su producción en la ganadería extensiva en gran medida. El pastoreo se constituye como una forma de producción basada en la cría de animales a partir del aprovechamiento de recursos a través de la trashumancia, siendo una estrategia que se presenta como viable y adecuada para ciertas regiones áridas y semiáridas, como lo son las tierras altoandinas. A su vez, se trata de una actividad que

está asociada con determinadas formas de vida, relaciones entre las personas y los animales, percepciones y construcciones particulares de la naturaleza, y ciertas lógicas de comprensión del mundo, que necesitan ser pensadas más allá de lo exclusivamente productivo. Tal como planteó Khazanov, el pastoreo no es solamente "un modo de ganarse la vida, sino que es también un modo de vida" (1994: xxxiii). En este sentido, la movilidad de los pastores de alta montaña no puede ser comprendida sólo a partir de la necesidad de acceso a determinados recursos naturales, sino que también debe ser puesta en el marco de la apropiación simbólica de ciertos lugares cargados de sentido para los grupos. La movilidad constante que los caracteriza, más allá de las variaciones, puede ser pensada como una práctica significativa, y significativa, en sí misma, más que como un simple medio para alcanzar otros objetivos (Tomasi, 2013).

Este proyecto se encuadra dentro del área de conservación en el esquema de la dinámica y emergencia de conflictos. El problema que eventualmente puede surgir a partir de la DT, son las tierras abandonadas. Pérdida de tierras productivas y/o disminución de la productividad de las mismas. Menos pastizales para la cría de ganado. Pérdida de la seguridad alimentaria. Desertificación, abandono y migración de la población.

Desertificación según F.A.O. se define como el «Conjunto de factores geológicos, climáticos, biológicos y humanos que provocan la degradación de la calidad física, química y biológica de los suelos de las zonas áridas y semiáridas poniendo en peligro la biodiversidad y la supervivencia de las comunidades humanas.» F.A.O. 1980.
<http://www.fao.org/3/V0265S/v0265s01.htm>

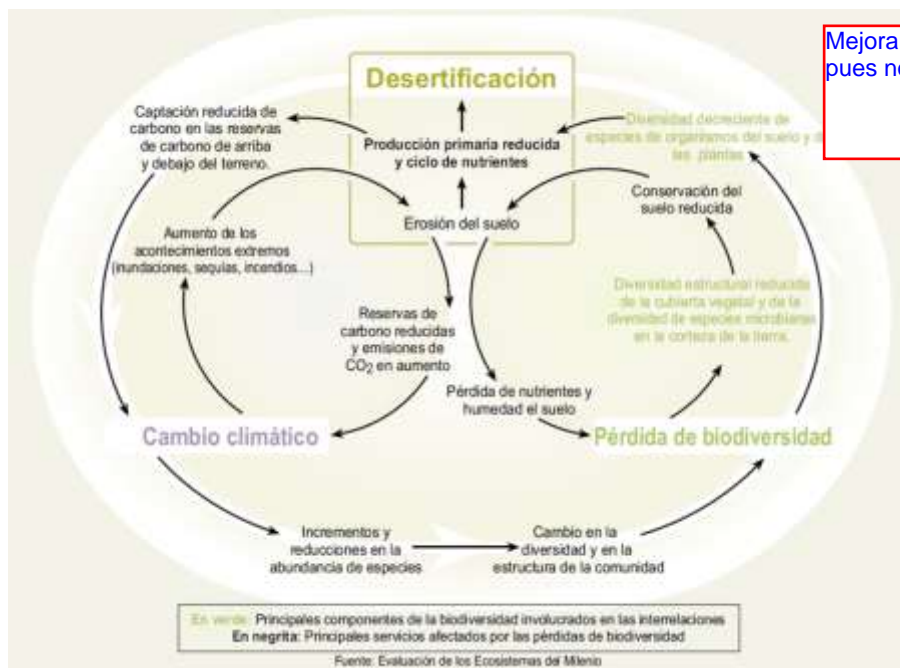
En la base del PDD (Paradigma de Desertificación de Dahlem) se encuentra el reconocimiento único (y a la vez simultáneo) del papel de las dimensiones meteorológicas y ecológicas (colectivamente, factores biofísicos o ambientales) y las dimensiones humanas (factores humanos o socioeconómicos) de la desertificación.

Allí se argumenta que el término desertificación sólo es útil en niveles más altos de agregación, mientras que la degradación es aplicable a niveles más bajos. En el paradigma de la desertificación de Dahlem (DDP) todos estos niveles son de su preocupación. Por ejemplo, en el plano internacional, la aplicación de la Convención de Lucha contra la Desertificación debe estar enmarcada en términos de cambios en los sistemas acoplados ambiente-humano que cambia drásticamente el significado de la "extensión del término desertificación" y en consecuencia la distribución de fondos para la intervención en el momento adecuado. Dentro de las variables biofísicas la erosión de los suelos, principal aspecto la DT / desertificación, está fuertemente determinada por las dimensiones climáticas y los cambios de cobertura (Stafford Smith y Reynolds, 2002).

Puede afirmarse que la Desertificación se encuadra dentro de los problemas complejos, ellos requieren de una gran convergencia entre varios campos de la investigación que nos permite mejorar el conocimiento del impacto de las oscilaciones del clima sobre la desertificación, y poder predecir y mitigar sus impactos. La cuestión ambiental abarca problemas paradigmáticos de la complejidad. Para su análisis y

resolución todos y cada uno de ellos requiere un abordaje multiescalar, multidisciplinar y multisectorial (Natenzon, 2003, Funtowicz y Ravetz, 1993).

Es necesario considerar una visión crítica del naturalismo que es una primera postura frente al ambiente y que es aquella que considera la problemática ambiental desde una perspectiva que pierde totalmente su dimensión social; se trata de aquellos análisis que ven al hombre sólo como un factor de alteración del equilibrio ecológico, como una variable más en el conjunto de los factores (Bocero y Natenzon 2007). Una postura más realista, aplicable a la problemática planteada, es la Humanista o clasista: quienes adjudican responsabilidades diferentes a las distintas clases y sectores de la sociedad capitalista. Quienes son dueños de los principales medios de producción, por ejemplo, disponen la forma en que se produce, el tipo de energía, y los recursos que se utilizan; sobre ellos recae, por tanto, la mayor responsabilidad de los problemas ambientales (Foladori, 2007). Considerando que los países que emiten más cantidad de CO₂ son los responsables de que se incremente la intensidad y frecuencia de las fuertes oscilaciones climáticas y por lo tanto les cabe una fuerte responsabilidad. Esta última postura frente al ambiente es la que se considera como realista. En el esquema de la evaluación de los ecosistemas de la Figura 1.1., vemos como el aumento de acontecimientos extremos favorecen la erosión del suelo y la desertificación (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), que no incluye la dimensión social.



Mejorar la calidad de la figura pues no se lee.

Figura 1.1. Esquema de la evaluación de los ecosistemas. Fuente: Millennium Ecosystem Assessment (2005).

De acuerdo con modelo HADCM3 entre las décadas 2020, 2050 y 2080 y el presente (1961-90) para el escenario B2, se esperan escenarios de disminución de la precipitación en la Puna (Barros, 2005). Además, se espera un incremento de la temperatura de mas de 4 °C y una mayor frecuencia de sequias en la Puna para el periodo 2071-2100 respecto de 1981-2010 Spinoni, (2020). Como se expresó anteriormente el cambio climático afecta la intensidad y frecuencia de las fases del

ENOS. En un esquema más simplificado esta tesis demuestra como las oscilaciones climáticas debidas al ENOS, el fenómeno más importante en la distribución y cantidad de lluvias presentes en la región, actúan sobre la CV y sus consecuencias al modificar las tasas de la erosión hídrica y eólica en la Puna argentina.

La DT y desertificación pueden ser prevenidas y mitigadas a través del manejo sustentable. El término Manejo Sostenible de Tierras (Sustainable Land Management (SLM) (Smyth y Dumanski, 1993), surgió como una consecuencia y un seguimiento de la discusión global sobre el “desarrollo sustentable” iniciado por la Comisión Brundtland (Hurni, 2000). El desarrollo sustentable fue definido como el desarrollo “que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la posibilidad de las generaciones futuras, de satisfacer sus propias necesidades” WCED (1987). Esta definición fue universalmente aceptada como un objetivo común de la UNCED, en 1992. El concepto terminó de completarse fundamentalmente después del trabajo de compilación (Beek y otros, 1997). El marco conceptual para la evaluación del manejo Sustentable de la Tierra fue desarrollado en la década del '90 (Dumanski 1994,1997; Dumansky y otros, 1998).

El enfoque ecosistémico es una estrategia para la ordenación integrada de la tierra, el agua y los recursos vivos que promueve la conservación y el uso sostenible de manera equitativa. Se basa en la aplicación de métodos científicos adecuados centrados en los niveles de organización biológica que abarca los procesos, las funciones y las interacciones esenciales entre los organismos y su ambiente, y que reconoce a los humanos, con su diversidad cultural, como un componente integrante de los ecosistemas. Dentro de este enfoque de desarrollo con un criterio de producción sostenible que mantenga los servicios ecosistémicos, se debe considerar en una escala regional y de forma aislada los cambios que se producen debido a la mayor frecuencia, extensión e intensidad de los eventos extremos como consecuencia de las oscilaciones climáticas. Es en este sentido un análisis y valoración de la degradación de un ambiente frágil como la Puna se torna realmente necesario, donde las acciones debidas al incremento lluvias y sequías intensas en forma intercaladas pueden ser muy devastadoras en algunos ambientes y con magnitudes más importantes que las originadas por diferentes intensidades de uso de la tierra. Al demostrar que la alternancia de mayores y menores precipitaciones que se corresponde con las diferentes fases del ENOS en la puna, se pudo seguir el comportamiento de las lagunas y los pastizales con imágenes satelitales. Sus resultados contribuyen en los pronósticos de los incrementos de degradación de las tierras causados por los eventos extremos que incrementan la erosión. Ver esquema propuesto Figura 1.2.

Es así que una de las más importantes pérdidas en la calidad de las tierras, se halla asociada a la erosión de los suelos siendo la erosión hídrica y eólica considerados procesos determinantes para la identificación y cuantificación de la desertificación (FAO, 1984; Navone y otros, 2011). La erosión no solo depende del sobrepastoreo y de los malos usos de una porción de la tierra, sino que también en el caso de la tasa de erosión geológica se puede ver modificada por los cambios en el ambiente debido a las oscilaciones climáticas. Si la frecuencia e intensidad de la DT, a causa del calentamiento global los eventos como el ENOS se vuelven de mayor magnitud, extensión y intensidad, entonces sería muy importante conocer en qué medida ello afecta a los ambientes independientemente de que intensidad del uso del territorio estén aplicando los pobladores. Existen diferentes responsabilidades de las

distintas clases y sectores de la sociedad que toman decisiones sobre el uso de los bienes y servicios del planeta.

Conocer de qué manera estos cambios en las fuerzas naturales originadas muchas veces en otras partes del planeta van a impactar en los ambientes más frágiles volviendo a sus poblaciones más vulnerables. Aun cuando se apliquen medidas de manejo sustentable para evitar la acelerada DT por la acción antrópica directa al ambiente, es posible que la degradación ambiental sea provocada por fuerzas más intensas y de una magnitud mayor, que se comporten de manera frecuente con fuertes oscilaciones del clima.

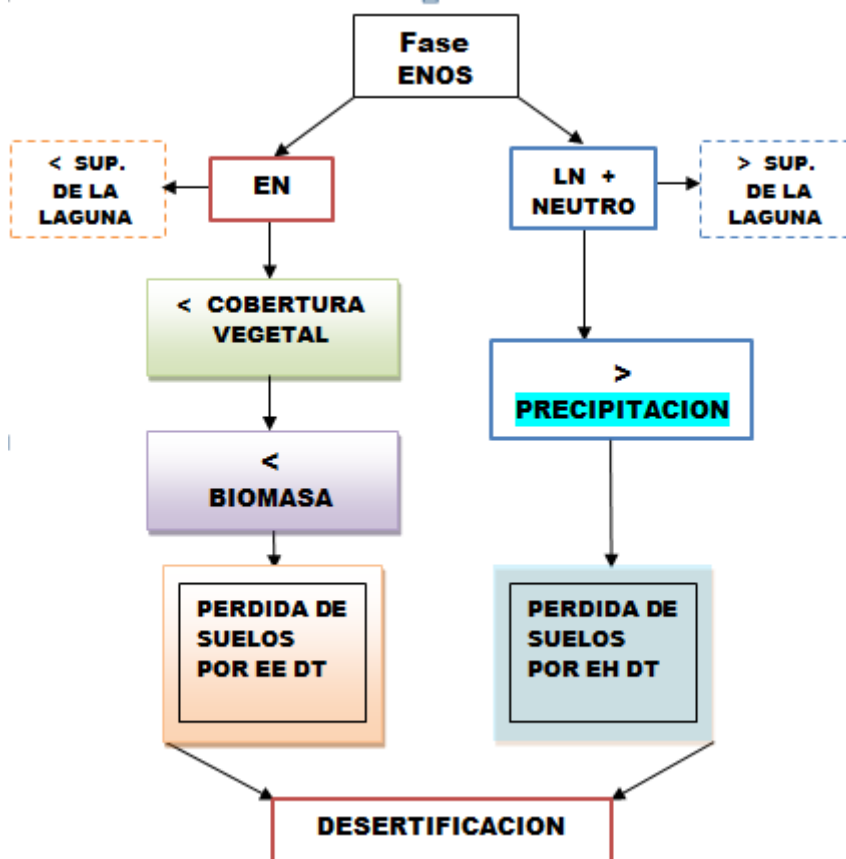


Figura 1.2. Se muestra un esquema conceptual del posible comportamiento del ENOS en la Puna sobre la cobertura vegetal, la erosión de los suelos y las lagunas. Fuente: Elaboración propia.

1.4 Tesis. Hipotesis y Objetivos. Formulación del problema a investigar.

Esta investigación se formula sobre la base de tres cuestiones de índole geográfica: el estudio del paisaje; el uso de información georreferenciada proveniente de sensores remotos satelitales y su sistematización mediante sistemas de información geográfica; y por último, la caracterización del clima regional, su variabilidad y los consecuentes impactos sobre el ecosistema, en particular el efecto sobre las comunidades vegetales y la erosión de los suelos, que caracterizan la peligrosidad de los procesos físicos naturales, y ayudan a determinar el riesgo ambiental.

Los ecosistemas, las tierras y los paisajes son sistemas complejos y en ellos los elementos no son separables, y por ello no pueden ser estudiados aisladamente (García, 2006). En particular, la DT conlleva a la desertificación y el proceso es considerado complejo. Para abarcar esta complejidad se requiere considerar por lo menos cuatro dimensiones, que permiten rescatar la diversidad de situaciones y causas, y darle orden a la complejidad. Estas dimensiones se sintetizan en cuatro palabras clave: peligrosidad, exposición, vulnerabilidad e incertidumbre (Natenzon, 2003).

La exposición del lugar, que involucra tanto el riesgo biofísico (la exposición potencial) como la respuesta social (resistencia y resiliencia social a los eventos peligrosos) pero dentro de un área específica o dominio geográfico. Esto puede referir al espacio geográfico dónde están localizados la población y los lugares vulnerables, o al espacio social, quiénes en esos lugares son más vulnerables (Cutter, 1996). En un análisis del riesgo, la exposición se reconoce como producto no sólo de la vulnerabilidad social sino de su relación con el potencial peligroso que tienen todos los procesos y las configuraciones del entorno, incluyendo en ello tanto a los aspectos naturales como aquellos producidos por la sociedad (Natenzon, 1998).

En este estudio haremos foco en la peligrosidad de los potenciales cambios en el clima de la Puna y sus posibles impactos sobre la DT por erosión, pero sus resultados serán discutidos considerando cómo afecta al entorno social donde ellos ocurren. Es por ello que todas las investigaciones dirigidas al estudio de la desestabilización del medio natural y su consiguiente necesidad de conservación en función de los problemas sociales que acarrearán, pertenecen al área del conocimiento de la Geografía y se requieren como una parte inicial del análisis de territorio y su incidencia en la vulnerabilidad social del mismo.

Muchos trabajos científicos han demostrado las conexiones entre la cobertura vegetal, el NDVI y las precipitaciones. Además, numerosas investigaciones han probado las teleconexiones entre el ENOS y las lluvias en muchas regiones del planeta. Muy pocos trabajos han estudiado y cartografiado la degradación de las tierras y en particular la erosión de los suelos y muchos menos lograron hacer comparaciones en el tiempo con las oscilaciones climáticas.

En una observación del clima a una escala más amplia varios científicos han demostrado, que en el término de un año -1976/77-, ocurrió una transición climática brusca en el sistema acoplado atmósfera-océano (TCP). Esta TCP conecta la temperatura de la superficie del Océano Pacífico con parámetros climáticos en muchas regiones del planeta (Namias, 1978; Ebbesmeyer y otros, 1991; Miller y otros, 1994; Solomon y otros, 2007; Meehl y otros, 2013). Los cambios de régimen podrían deberse a modificaciones en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical (Huang y otros, 2005). Y es plausible pensar que dicha transición haya sido inducida por el calentamiento global del sistema acoplado mar-atmósfera.

No se ha determinado aún si la TCP ha afectado el clima de la Puna, ni los impactos de este fenómeno y los de la variabilidad aportada por el ENOS.

En el presente trabajo se sostiene la siguiente tesis: que la transición climática del pacífico 1976/77 (TCP) influyó también en el NOA provocando un salto climático en el régimen de lluvias, y que la precipitación del período lluvioso anual es también

afectada por el fenómeno ENOS. También se plantea como tesis que estos saltos y oscilaciones del clima afectan la vegetación natural y la erosión de los suelos.

En particular, se pretende demostrar que existen cambios en el nivel de erosión de los suelos en el espacio y el tiempo, causados por los distintos eventos del ENOS.

Este y otros estudios posteriores podrán evaluar cómo los departamentos de la Puna jujeña serán afectados de acuerdo con sus condiciones socioeconómicas. La disminución de la calidad de vida de la población causada por pérdida de productividad de sus tierras provocará la pérdida de sus medios de vida, bienes y servicios ecológicos. La ubicación de tierras más frágiles en el futuro serán los escenarios de conflictos por falta de forraje y agua entre sus habitantes.

1.4.1. Hipótesis

La hipótesis general sostiene que los efectos de las oscilaciones o variaciones climáticas causados por el ENOS sobre la precipitación y el viento en la Puna argentina, favorecen la DT por erosión, y pueden ser monitoreados a través del desarrollo de un modelo de análisis y evaluación de los recursos naturales mediante el análisis temporal de información satelital.

La hipótesis de trabajo relacionada con el clima postula que la TCP habría causado saltos climáticos en la precipitación en la región NOA, y que posteriormente a la TCP hubo un cambio significativo en la precipitación en la sub-región semiárida del NOA, incluida la Puna.

Estos cambios temporales y espaciales de la degradación de las tierras por erosión asociados a modificaciones en el clima en la Puna de Jujuy, pueden ser monitoreados y valorados y es posible identificar cuáles son las poblaciones y comunidades que pueden ser afectadas de acuerdo a indicadores socioeconómicos.

Considerando la discusión de los antecedentes analizados, esta tesis tiene como objetivo general desarrollar un modelo, en el marco de un sistema de información geográfica, que utilice información remota satelital y mediciones y observaciones in situ, apto para analizar y evaluar cuantitativamente los cambios en el ambiente de la Puna, en particular la DT por erosión y las variaciones en la cobertura del suelo de las comunidades vegetales típicas de cada una de las subregiones topo-climáticas, causados por las oscilaciones climáticas, con especial énfasis en la variabilidad de la precipitación asociada al ENOS.

1.4.2. Objetivos Específicos

O1-Characterizar la heterogeneidad ambiental a partir de estudios previos. Delimitar microambientes integrando la información y datos obtenidos de diversas fuentes.

O2-Determinar la posible existencia de saltos climáticos en la precipitación en la región NOA cercanos o coincidentes en tiempo con la TCP (Transición climática del Pacífico).

O3-Determinar la influencia del fenómeno ENOS sobre la variabilidad interanual de la en la región NOA para las condiciones climáticas actuales y cuáles son las relaciones con las fases del ENOS en la Puna.

O4-Identificar y cuantificar los posibles cambios, antes y después de la TCP, en los valores medios y la variabilidad de la precipitación para las tres fases del ENOS en la Puna.

O5-Identificar las posibles relaciones entre el fenómeno ENOS, la variabilidad climática y los cambios en el ambiente. Cuantificar las variaciones en el comportamiento de la superficie de las lagunas y del NDVI en distintas comunidades vegetales representativas.

a-Investigar los ajustes entre la superficie de la Laguna de los Pozuelos y las variaciones de la precipitación causadas por el ENOS.

b-Comprobar si la CV de las distintas estepas, expresada mediante el NDVI, varía con las oscilaciones climáticas, específicamente con las distintas fases del ENOS.

O6-Determinar si la magnitud de la erosión del suelo, tanto hídrica como eólica, es afectada por la fase del ENOS.

O7-Desarrollar una cartografía de las áreas afectadas, no afectadas y susceptibles de ser afectadas, por erosión de suelo causadas por la variabilidad climática originada en el fenómeno ENOS, que permita jerarquizar los niveles de amenaza natural.

O8-Comprender cómo las variaciones espacio-temporales de la DT por erosión afectan de manera diferencial las distintas poblaciones de la Puna. Ellas serán relacionadas con algunos indicadores socioeconómicos del INDEC.

1.5 Contenidos

La tesis está conformada por dos secciones, la primera se muestra como se desarrollo esta tesis y la segunda sección es donde se desarrollan los capítulos que ponen a prueba las hipótesis planteadas y exponen los objetivos.

Sección 1

Capítulo 1

La primera sección de la tesis contiene un capítulo que incluye la introducción, el estado de la cuestión y los antecedentes, justificación de esta tesis, marco teórico y el planteo de la misma con los objetivos e hipótesis.

Sección 2

La segunda sección está orientada a la ejecución y desarrollo de los objetivos abarcando 8 capítulos.

Capítulo 2

2.1 Caracterización de regional de la heterogeneidad del paisaje de la Puna jujeña

El este capítulo de esta sección incluye una recopilación de información de los ambientes de la Puna jujeña. Se describen unidades de geomorfología, clima, suelos, vegetación natural, pendientes.

En la escala regional en la que se aborda este estudio y considerando los objetivos del mismo, la geomorfología juega un rol determinante para comprender la heterogeneidad de este paisaje. Los principales ambientes son descriptos: los cordones montañosos que circundan y limitan el bolsón, los conos aluviales y pedimentos con pendiente y relieve variable, la llanura central que ocupa un cuerpo de agua somero de no más de 2 metros de profundidad y los glaciares que rodean las lagunas por el este y el oeste, interrumpida por algunos conos de deyección. En cada uno de estos ambientes son descriptos los suelos dominantes y las diversas comunidades de estepas de gramíneas, arbustivas y mixtas dominantes. Además, se hizo un análisis regional de las variaciones de las principales variables climáticas: precipitaciones, temperaturas, evapotranspiración y vientos y se desarrolla una síntesis.

Actividades: Relevamiento de la información básica y mapas temáticos simplificados existentes de clima, geomorfología, suelo, vegetación, etc. a distintas escalas.

Se elabora un Sistema de Información Geográfica que incluya imágenes MODIS, Landsat, Sentinel, Spot, SRTM y grillas del GPCC, mapas de recursos naturales.

Se incorporan fotos de suelo, vegetación y paisajes de los distintos ambientes característicos de la Puna jujeña, Figuras con gráficos y tablas de clima otras variables y mapas de la región.

Se analiza la información y se presenta una discusión acompañada por bibliografía.

Capítulo 3

3.1 Identificación de la Transición Climática del Pacífico en el NOA.

En el tercer capítulo se demuestra como la Transición Climática del Pacífico ocurrida en el verano del hemisferio sur 1976/77 tuvo influencia del clima del NOA y en particular en la Puna. A fin de comprender mejor las influencias de la TCP y el ENOS sobre la precipitación en La Puna y su dimensión espacial, se efectúa un análisis de esta variable en toda la región NOA, mediante estudios a efectuar con datos de las estaciones meteorológicas existentes en la región, además de La Quiaca y Abra Pampa. Se han incluido cuatro localidades más en el NOA (Catamarca, La Rioja, Salta y Tucumán), las cuales rodean a la Puna por el sudeste y sur y disponen de series

extensas de datos de precipitación. De este modo se puede visualizar condiciones climáticas regionales en el NOA, en particular en su respuesta a la TCP y el ENOS.

Se realizó una discusión de los resultados obtenidos y anexando conclusiones y bibliografía. Se espera que el índice de Yamamoto permita identificar las estaciones del NOA cuando y donde se produjo la TCP.

Capítulo 4

4.1 Definición de los índices más usados del fenómeno ENOS.

Se hizo una breve descripción de los principales índices de ENOS como introducción al cuarto capítulo. Los eventos del ENOS se han identificado históricamente por medio de índices mensuales que cuantifican la intensidad del fenómeno; en un extremo del rango se ubica la fase cálida (El Niño) y en el otro la fase fría (La Niña).

Los tres índices que se usaron en esta tesis son los más ampliamente aplicados por la comunidad científica que investiga el tema. El primero de ellos, y el más antiguo, es el Southern Oscillation Index (SOI), El segundo índice es el Oceanic Niño Index (ONI) y el tercer índice seleccionado, el Multivariate ENSO Index (MEI).

4.2 Construcción de índices ENOS asociados a la precipitación O-A en el período lluvioso.

Misma categoría de subtítulo que 4.1 y ver el resto que falta para unificar.

En el capítulo 4 se diseñaron y elaboraron tres índices ENOS representativos del período Octubre-Abril (“semestre cálido”), el cual concentra las lluvias en la región subtropical sudamericana): SOI_O-A, ONI_O-A y MEI_O-A, a partir de las series temporales de precipitación elaboradas para el período 1950/51 – 2015/16. Dichos índices se basan en los índices mensuales SOI, ONI y MEI respectivamente. Los índices SOI_O-A, ONI_O-A y MEI_O-A se diseñaron de tal modo que incorporan la contribución de la precipitación media mensual local en dicho período. Las estaciones meteorológicas de la Puna de Jujuy fueron consideradas para elaborar los índices específicos representativos del “semestre” cálido octubre-abril (O-A), en el cual se concentra más del 95% de la precipitación. Estos se construyeron a partir de los tres índices ENOS mensuales mencionados y de los valores de precipitación media mensual en cada una de las localidades. Se demostró que existe una relación de la precipitación durante la estación lluviosa de la Puna con las fases del ENOS definidas por los diversos índices y se elaboró un ajuste para la Puna.

Se probó que en la Puna existe una asociación relevante entre la precipitación y las fases del ENOS. Para ello se usaron los datos de lluvias de La Quiaca y Abra Pampa, comparando entre fases del fenómeno ENOS para su análisis.

Se analizó además el grado de correspondencia estadística entre ellos y con la precipitación O-A. Mediante el análisis de los datos pluviales de las seis estaciones meteorológicas se elaboraron estadísticas descriptivas y se obtuvieron regresiones que relacionan los distintos índices que definen las diferentes fases del ENOS con la precipitación O-A.

4.3 Clasificación de los períodos O-A en fase Neutra, Niña o Niño.

Se elaborará un criterio para clasificar, a partir de los índices ENOS mensuales, los períodos Octubre-Abril en fase Neutra (NE), Niña (NA) o Niño (NO).

Se hallaron las ponderaciones de la contribución en la precipitación media mensual en el período monzónico y sus coeficientes fueron aplicados a los índices del ENOS para la Puna. Se muestran estadísticas, Figuras y tablas. Se puso a prueba los tres índices del ENOS para las localidades de La Quiaca y Abra Pampa usando regresiones de segundo orden y sus ajustes con la precipitación de la estación lluviosa correspondiente para ambas localidades. Además, se presenta una comparación del comportamiento de las precipitaciones durante el período monzónico realizando ajustes entre Abra Pampa con La Quiaca, usando datos mensuales y por estación lluviosa.

Capítulo 5

5.1 Relaciones entre la precipitación O-A en La Puna, las fases del ENOS y la TCP.

En el quinto capítulo se probó la relación del ENOS con las precipitaciones, antes y después de la TCP, para La Quiaca y Abra Pampa. Se comparan los diferentes índices propuestos en el capítulo 4 con las precipitaciones O-A y para ello se dividen los períodos 1950-1951/1976-1977/2015-2016 y los últimos 20 años de la serie estudiada 1996-1997/2015-2016.

Se efectuaron análisis estadísticos para cuantificar el grado de dependencia de la precipitación O-A en la Puna con las fases del fenómeno ENOS y con la TCP.

Se incorporaron Figuras con gráficos de regresiones estadísticas y tablas desagregando las series temporales de precipitación en períodos antes y a partir de la TCP. Asimismo, se construyeron índices ENOS para cada una de las localidades.

Capítulo 6

6.1 Relación de la hidrología de lagunas y la vegetación natural con las fases del ENOS.

El sexto capítulo se divide en dos partes. La primera se dedicó a estudiar hidrología y el ENOS en Jujuy. Se estudió si existen relaciones entre la superficie de la laguna de los Pozuelos y las lluvias de otros cuatro espejos de agua de Sud América. Dicha laguna está ubicada en la Puna, en las coordenadas 22° 22' S y 66° O y aproximadamente 3670 m, de altura.

Las lagunas de cuatro regiones fueron elegidas: en los Andes Peruanos, el Pantanal y la Selva Tropical Amazónica en la zona centro-este de la cuenca (en Brasil) y al noroeste de esta en territorio de Perú.

Se determinó en qué medida impactan los cambios de la precipitación provocados por el ENOS sobre la evolución de la extensión de la superficie de la laguna de los Pozuelos mediante análisis estadísticos.

Asimismo, se efectuó la discriminación de las extensiones de las lagunas disponibles según la fase del fenómeno ENOS para el período 1993-2015, a fin de

verificar si los resultados obtenidos en el capítulo 3 se reflejan también entre la fase del ENOS y las superficies lagunares.

Se probó que la superficie lagunar del Monumento Nacional Laguna de los Pozuelos puede servir como indicador del monto de la precipitación en la Puna seca.

Se estudió la relación de la variación de la extensión de la laguna de Los Pozuelos, con las variaciones de las precipitaciones provocadas por las distintas fases del ENOS en Abra Pampa y La Quiaca.

La segunda parte de este capítulo se dedicó al estudio de los cambios en el NDVI, como una aproximación de la cobertura vegetal y la productividad de biomasa de las distintas estepas, entre las distintas fases.

Para el análisis de la productividad de la vegetación se utilizaron los NDVI obtenidos del sensor MODIS a bordo del satélite Terra (Huete, 2002), de 250 m por píxel de resolución espacial, donde cada una de estas imágenes es el resultado de la composición de mosaicos de los mayores valores diarios de cada píxel durante un período de 16 días. Ellos corresponden al producto MOD13Q1 (<ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT>).

A partir del mapa de comunidades vegetales elaborado por Movía y Ruthsatz (1975), se determinaron áreas muestrales de 100 píxeles de NDVI para cada una de las nueve comunidades vegetales de la Puna Jujeña elegidas: Estepa de *Fabiana densa* y *Baccharis boliviensis*, Estepa arbustiva de *Tetraglochin cristatum*, Matorrales de *Parastrephia lepidophylla*, Pastizal altoandino con arbustos, Estepa arbustiva de *Baccharis boliviensis*, Matorrales de *Parastrephia sp*, Vegetación de médanos, Vegetación de médanos y matorrales de *Parastrephia lepidophylla* y Pastizales de *Pennisetum chilense*. Definidas en el capítulo 1, se observaron los cambios de los índices de vegetación por comunidad y se estudia su evolución de acuerdo a las distintas fases del fenómeno ENOS definidas previamente en el capítulo 3 y posterior a la fecha de la TCP determinada en el capítulo 2, para su comparación mes a mes.

Con los datos obtenidos de todos los píxeles muestreados para toda la serie de datos correspondientes a una década de muestreo se realizaron comparaciones de NDVI de las comunidades entre sí mediante Análisis de la Varianza (ANOVA). Se comprobó la sensibilidad del NDVI para marcar diferencias entre los valores de las distintas estepas de la Puna de Jujuy como una aproximación de las productividades de las mismas y el porcentaje de la cobertura de suelo.

Posteriormente y con las mismas comunidades seleccionadas previamente, se realizó un análisis en detalle de la productividad para cada una de ellas, el cual consiste en realizar ANOVAs por comunidad y para cada mes del período monzónico en los que se observan precipitaciones (Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril) respecto a las fases El Niño 2002/03 y La Niña 2008/09 de menores y mayores precipitaciones generales registradas respectivamente, por las estaciones meteorológicas de Abra pampa y la Quiaca en la década del 2000.

Con el fin de determinar cómo las distintas fases del ENOS pueden influir en la variación de la cobertura vegetal de la región y por ende estimar que comunidades vegetales están más expuestas a sufrir procesos erosivos y de desertificación, se generaron modelos que relacionan el NDVI de MODIS con la cobertura vegetal medidas en el campo de las estepas arbustivas, de gramíneas y mixtas.

Se generaron funciones matemáticas y ajustes para estimar coberturas vegetales de las estepas dominantes según las distintas fases del ENOS. Se exhiben estadísticas, tablas y Figuras planteando escenarios futuros con eventos extremos.

Los cambios en los índices de vegetación fueron relacionados con cambios potenciales de la cobertura aplicando estas ecuaciones para las distintas estepas que se utilizaron en el capítulo 7 para establecer el grado de fragilidad a la DT, para las fases El Niño y La Niña, en las unidades de vegetación estudiadas. Para las comunidades seleccionadas por importancia en la extensión que ocupan y su valor productivo, en las que se encuentren diferencias significativas en la CV se aplicó las ecuaciones de pérdida de suelos por erosión eólica Fryrear y otros (2001) y erosión hídrica Wischmeier y Smith (1978), para establecer los cambios debido a los años con fase El Niño y La Niña.

Se determinó como línea de base el año 2000 y se utilizó para ello la información recopilada por Navone (1996).

Capítulo 7

7.1 Cálculo de la erosividad por lluvia y viento en la Puna de Jujuy y su relación con el ENOS después de la TCP.

En el séptimo capítulo de esta sección se comprueba como el efecto del ENOS afecta y modifica los valores de erosividad y su peligrosidad causada por viento y lluvia, después de la TCP.

Para la obtención de la función que permite estimar la erosividad de la lluvia (R) a partir de la precipitación acumulada durante el período monzónico. Para su cálculo se usarán datos de la EE Abra Pampa de INTA obtenidos entre los años 2013 y 2017 registrados cada 10 minutos por la EMA. Se agregan datos diarios y mensuales de R para obtener un valor integrado de cada estación lluviosa.

Se generó la ecuación que relaciona las precipitaciones con el valor de R desarrollada a partir de datos de la EMA de la EE INTA Abra Pampa entre el 2013 y 2017 y una vez obtenido este algoritmo fue aplicado a los datos de precipitación para estimar el valor de R de toda la serie de datos 1970- 2016 después de la TCP. Finalmente se compararán las medias de los valores de R entre las fases del ENOS

Para la erosión eólica, la estimación de las velocidades del viento con potencial de erosionar, se calcula a partir de la fórmula propuesta por la RWEQ.

Del mismo modo que en el proceso de erosión hídrica en primer lugar se analizó la variable climática por separado, ya que este mantiene una relación directa con las oscilaciones del clima.

A partir de los datos de registros diarios de temperatura, precipitación, radiación y viento del SMN desde el año 1970 hasta el 2016 se calculó el factor WF de La Quiaca. Posteriormente se realizó una comparación de medias entre fases del fenómeno ENOS.

Se presentan los resultados de la estimación de erosividad por lluvia y viento, obtenidos por fórmulas. Se generaron estadísticas para comparar pérdida de suelos

por erosión hídrica entre estepas representativas, discriminado entre los distintos eventos de **ENOS**.

Capítulo 8

Desarrollo de cartografía de EE y EH por fases del ENOS, y su relación con los indicadores socioeconómicos mapeados por el INDEC.

Los dos últimos capítulos de esta sección fueron destinados a la cartografía: en el primero; capítulo 8, se desarrolló la cartografía generada por Sistema de información geográfica, para mostrar los cambios espaciales y temporales de la erosión eólica e hídrica provocada por el ENOS posterior a la TCP. Finalmente, en el capítulo 9 mediante la intercepción de mapas, se demostró la vinculación entre la información biofísica y socioeconómica de algunos de los departamentos de la Puna jujeña.

8.1 Desarrollo de cartografía de EE y EH por fases del ENOS.

Está destinado a la cartografía de DT, correspondiente se destina a la evaluación espacio temporal de la variación de la amenaza de la degradación por erosión hídrica y eólica. Se usaron los datos de la metodología de DT LADA (Land Degradation Assessment in Dryland Areas) ONDTyD (Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación) para comprobar los cambios en los indicadores biofísicos. Análisis de cambios en la CV, indicadores de avance de los procesos de degradación por erosión.

Se presenta el desarrollo de un modelo semiautomático que permite estimar la erosión hídrica potencial en la Puna a partir de sensores remotos.

Se elaboraron mapas de amenaza por erosión hídrica por cada estación lluviosa y para las distintas fases del fenómeno ENOS, se aplicó la ecuación universal de pérdida de suelos USLE usando imágenes satelitales y mapas, desarrollando varias rutinas y que se instrumentaron aplicando el módulo GraphBuilder del SNAP siguiendo el flujograma de la Figura 8.11. la representación raster de los mapas derivados de la USLE es de 250m de pixel el valor del MODIS. La escala final Intermedia de 90 m entre el mapa de suelos, SRTM y la Grilla GPCC. De todas maneras, esta función por estar desarrollada con una orientación a situaciones de producción agrícola y dado que se aplicará al estudio de un área natural, utilizaremos como apoyo para el cálculo de la CV, y ecuaciones que nos permiten relacionar la CV con el NDVI y la estimación de C (Carlson y Ripley, 1997; Van der Knijff y otros, 2000). Se relacionaron los datos primarios de porcentajes de cobertura (medidos y estimados) con valores de NDVI de las imágenes MODIS, correspondientes a la misma la fecha y lugar, para determinar cómo ajustan con las funciones matemáticas calculadas en el capítulo 6. El uso de modelos empíricos estructurados más simples como USLE no necesariamente resultan en incertidumbres más altas que la aplicación de modelos físicos basados en procesos (Alewell y otros, 2019). Evaluaciones similares en tierras secas del norte de Argelia para determinar la erosión hídrica fueron publicadas por Nehai y Guettouche, (2020) y Mihi, y otros. (2019) y a una escala de

país en Argentina Gaitan y otros (2017) pero sin considerar cómo afectan las oscilaciones climáticas.

En esta investigación, el factor P no será considerado en este análisis porque no existen prácticas específicas para el control de la erosión hídrica a nivel de ganadería extensiva, recordemos que la mayor parte del territorio es de uso ganadero con pastoreo trashumante. En esta región se practica la agricultura bajo riego y solo en pequeñas franjas asociadas a las laderas cercanas a los márgenes de los ríos y donde los pobladores tradicionalmente realizan prácticas de control como las terrazas con riego y rotaciones de cultivos. El conocimiento ancestral en el manejo de prácticas de conservación de suelos, el culto a la Pachamama, es muy fuerte, lo que refuerza nuestra atención a la observación y monitoreo de las variaciones del clima en las grandes extensiones dedicadas a la ganadería que pueden ser representadas en los mapas a escala regional.

Aplicando la ecuación universal de pérdida de suelos USLE con imágenes satelitales y mapas. El objetivo específico fue evaluar los cambios de la erosión potencial para las distintas fases del fenómeno ENOS. Los objetivos secundarios fueron: (1) estudiar las variaciones espaciales y temporales en la erosión hídrica actual y potencial y (2) estudiar cómo influyen los cambios en las precipitaciones y la cobertura vegetal causadas por las variaciones del ENOS en la degradación provocada por la erosión hídrica. Para ello se establecieron dos tipos de muestreos: polígonos y transectas. Las áreas establecidas por polígonos se encuentran al sur del pueblo de Santa Catalina e identifican la ubicación de la comunidad vegetal de *Pennisetum chilense* (Ruthsatz y Movía 1975) para poder determinar el efecto de la cobertura vegetal en la estimación de la erosión potencial y actual para las distintas fases del ENOS. Los polígonos representan un recorte total de 1037 píxeles.

Además, se establecieron catenas o transectas ubicadas en tres latitudes que permiten identificar variaciones geográficas. Las mismas atraviesan en dirección oeste a este el paisaje. La transecta 1 atraviesa la Laguna de Pozuelos, la transecta 2 recorre el valle del Río Miraflores a la altura de la localidad de Abra Pampa y más al sur la transecta 3 cruza la Laguna de Guayatayoc. La variación de la estimación de la erosión potencial y actual será determinada con un punto de muestreo cada 2 kilómetros en sentido Oeste-Este a lo largo de cada una de ellas, por lo que se contó con un total de 32 puntos, para generar un perfil del relieve y la pérdida de suelo en cada una de las fases del ENOS.

Para el análisis y elaboración de mapas para ambientes con amenaza por erosión eólica para las distintas fases del fenómeno ENOS, se realizó una estimación de la pérdida de suelo por erosión eólica mediante la Ecuación de Erosión Eólica (WEQ) (Ec. 1) y su versión revisada (RWEQ). Si bien se utilizó la WEQ como base, se calculó algunos componentes (Factor C y Factor I) aplicando la RWEQ, que permite realizar el cálculo para períodos de tiempo distintos a los anuales y contempla una mayor cantidad de variables del clima y el manejo (principalmente la CV) (Buschiazzo y otros, 1999). La erosión eólica se calculó para el período julio-junio, que incluye el período de baja CV (característica vinculada al régimen estacional de ocurrencia de las precipitaciones determinadas a partir de ecuaciones del capítulo 6 y cuando se producen vientos de mayor velocidad, con condiciones predisponentes a la erosión eólica. Los puntos de muestreo a campo para establecer cobertura fueron identificados mediante GPS. La CV que será usada fue medida mediante el método de

intersección línea LADA_FAO (2010). Se utilizará la metodología de las planillas de Indicadores biofísicos de la desertificación (Navone y Maggi, 2011) y los obtenidos de los informes elaborados por la FAUBA para el ONDTyD (Maggi y otros, 2017). Estos lugares nos permiten verificar los resultados espaciales de la erosión eólica. Además, se comparan el contenido de suelo atrapado en colectores de partículas Wilson and Cook en distintas fases del ENOS.

Se analizarán las distintas fases del fenómeno ENOS, siendo la estación de la EEA INTA Abra Pampa la escogida por ser bien representativa de la Puna y tener una larga serie histórica de datos.

Para el estudio de la erosión eólica se realizó una estimación de la pérdida de suelo por erosión eólica mediante la Ecuación de Erosión Eólica con su versión revisada (RWEQ).

$$E = f (I', K', C', L', V') \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

E = erosión medida en $\text{tn ha}^{-1} \text{año}^{-1}$.

I' = índice de erodabilidad del suelo.

K' = factor de rugosidad.

C' = factor climático local.

L' = longitud del terreno en la dirección prevaleciente de los vientos.

V' = el equivalente de cobertura de vegetación medida en kg ha^{-1} .

La cobertura vegetal (CV) es estimada a partir de las ecuaciones y ajustes descriptos a partir del NDVI obtenidos de las imágenes MODIS y las observaciones realizadas por el ONDTyD mencionado en el Capítulo 1. Para la pedregosidad en superficie se considera el mapa de Nadir y Chafatiños y las planillas del ONDTyD y se asume que el material vegetal muerto y la presencia de mantillo son poco significativos ya que cubren poca superficie de terreno y además gran parte se descompone y/o es arrastrado.

A la rugosidad (factor K) se le asignó un valor de 1, sabiendo que el área bajo estudio no se encuentra bajo labranza y por lo tanto no cuenta con crestas artificiales que conforman rugosidad orientada. La rugosidad no orientada es muy variable en el altiplano entre los cordones montañosos. Esta última pierde efecto rápidamente cuando desaparece la cubierta vegetal, es por ello que se asumió como si fuera una planicie lisa sin obstáculos alcanzando su máximo potencial.

El factor de longitud del terreno en la dirección prevaleciente de los vientos (L) fue despreciado, se asume que en el altiplano es una superficie libre de obstáculos, no existen cortinas forestales. Los arbustos y pasturas si bien favorecen la acumulación de material a sotavento, desaparecen y se renuevan permanentemente modificando su disposición espacial. Al no poder estimarse, se plantea la peor condición y el máximo potencial y por lo tanto se asumió un valor de 1.

A partir del mapa de suelos de Nadir y Chafatiños, se calculó las variables del índice de erodabilidad del suelo (I) o FE fracción erosionable y se agregaron en la

tabla de atributos los datos calculados de WF para cada polígono, y de SRL estas dos últimas variables cambian según la fase considerada. La rugosidad y longitud protegida al viento serán consideradas en el peor de los escenarios. Esta metodología nos permite aplicar la RWEQ para cada año a partir de la tabla de atributos y finalmente representarla en un SIG en forma vectorial.

Comparación de datos obtenidos con mapas y datos de planillas de campo ya existentes.

Se elaboró una cartografía específica con la identificación de las distintas áreas con distintos niveles de degradación. Como los datos de terreno son tomados con puntos GPS, fue posible comparar los relevamientos de terreno con la cartografía generada a partir de puntos de muestreo no utilizados para elaborar los mapas. El desarrollo del modelo considero los cambios detectados en la DT (erosión) y su relación con las oscilaciones climáticas, causadas fundamentalmente por el fenómeno ENOS, y su impacto en las variables biofísicas suelo, agua y la modificación de la CV, esta última actúa alterando su efecto protector sobre el suelo.

Se muestra la identificación y valoración de las zonas con mayor susceptibilidad a la degradación por erosión hídrica y eólica y cual de las oscilaciones climáticas pueden incrementar su daño.

Se identificaron en función de la CV y su variación con las precipitaciones y los factores determinantes de la erosión hídrica y eólica (suelo, clima, vegetación, rugosidad, pendientes y geoformas).

En el análisis se consideran las categorías de estimaciones tanto la erosión real como potencial en: sin degradación a baja ($< 10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), baja a moderada ($10-50 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), moderada a alta ($50-100 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), alta a muy alta ($100-200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y muy alta ($> 200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), seguimos los rangos de susceptibilidad propuestos por FAO PNUMA, 1980. Para facilitar la diferenciación de las unidades cartográficas y la visualización de los cambios entre las fases de El Niño se realizaron cortes más estrechos y se adoptó el límite de $12 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ que es el umbral de tolerancia de pérdida de suelo propuesto por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). En EH (0-6; 6-12,5; 12,5-50; 50-100; 100-200 y $>200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y en EE (0-12; 12-25; 25-50; 50-100; 100-200 y $>200 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Se estableció la relación entre las fases del ENOS y la erosión hídrica y erosión eólica combinadas en la Puna ya que en muchas tierras se presentan ambos procesos.

Tanto para la erosión eólica como para la erosión hídrica se elaboraron mapas promedios de pérdida de suelo para cada fase de ENOS, El Niño, neutra y La Niña, con sus respectivos grados.

Se exponen mapas de la Puna de Jujuy del promedio de erosión hídrica y eólica para cada una de las fases del ENOS, Mapas de los valores de las variables después de aplicar los algoritmos, análisis estadísticos comparando erosión actual y potencial, Se presentan datos de colectores de sedimentos con erosión eólica, tablas, Figuras con flujogramas y perfiles.

Capítulo 9

9.1. Relación de la DT con los indicadores socioeconómicos mapeados por el INDEC.

El noveno y último capítulo se incorpora la dimensión socioeconómica se ocupa de la intersección de los mapas de DT por erosión según el ENOS y con la cartografía de indicadores del INDEC con división política.

Se obtuvieron mapas de las localidades y parajes de las zonas rurales que potencialmente pueden ser más afectadas a partir de los SIG con los mapas de erosión hídrica y eólica por fase del ENOS para el período 2000-2016. Se realizó un recorte de la cartografía de acuerdo a la división política. Los mapas de erosión por fase de ENOS son interceptados por los mapas con datos socioeconómicos. Se usaron los mapas de cuatro indicadores socioeconómicos importantes del censo de población y vivienda del INDEC 2010 por localidades y departamentos. Se considera número de Habitantes, índice de analfabetismo, índice de desocupación e índice de necesidades básicas insatisfechas.

Para interpretar cómo las variaciones espacio-temporales de la DT por erosión afectan de manera diferencial las distintas poblaciones de la Puna, se discutió de qué manera los esos indicadores de población y vivienda se relacionan con las consecuencias de la erosión, por ejemplo cantidad de habitantes y tamaño y número de focos de erosión eólica cercanos a las localidades o que poblaciones son amenazadas se produce el incremento de ríos activos en verano en determinada fase de ENOS que provocan cortes de caminos, aislamiento y hasta aludes de barro. Estos resultados permitirán establecer qué poblaciones y en qué fases del ENOS podrían ser más afectados por la DT por erosión causada por los eventos climáticos extremos. Esta idea se sigue en el diagrama de la Figura 1.3 que conceptualiza las relaciones entre el clima y sus variaciones, la modificación de del tipo y grado de erosión y la consecuencia final sobre el territorio de la Puna jujeña. Del mismo modo que en el este de África se demuestra la presencia en algunos territorios la combinación de erosión hídrica y eólica. Fenta, y otros (2020). En el flujograma se muestra como los cambios espaciales expresada por el relieve y el suelo se cruzan con las variabilidades temporales como las oscilaciones climáticas y en particular las originadas por el ENOS y y como afectará el cambio climático y la alteración espacio temporales de la cobertura vegetal (pastoreo) con la disminución y deterioro de la cobertura vegetal y el incremento del suelo desnudo e incremento de la pedregosidad, causada por la pérdida de suelo por erosión. Al ser comparada las distintas fases de el ENOS con los procesos eólicos e hídricos, su alternancia y fuerza culminan en un pavimento de desierto donde ya no crece la vegetación e impulsa el éxodo poblacional de estos territorios frágiles y marginales.

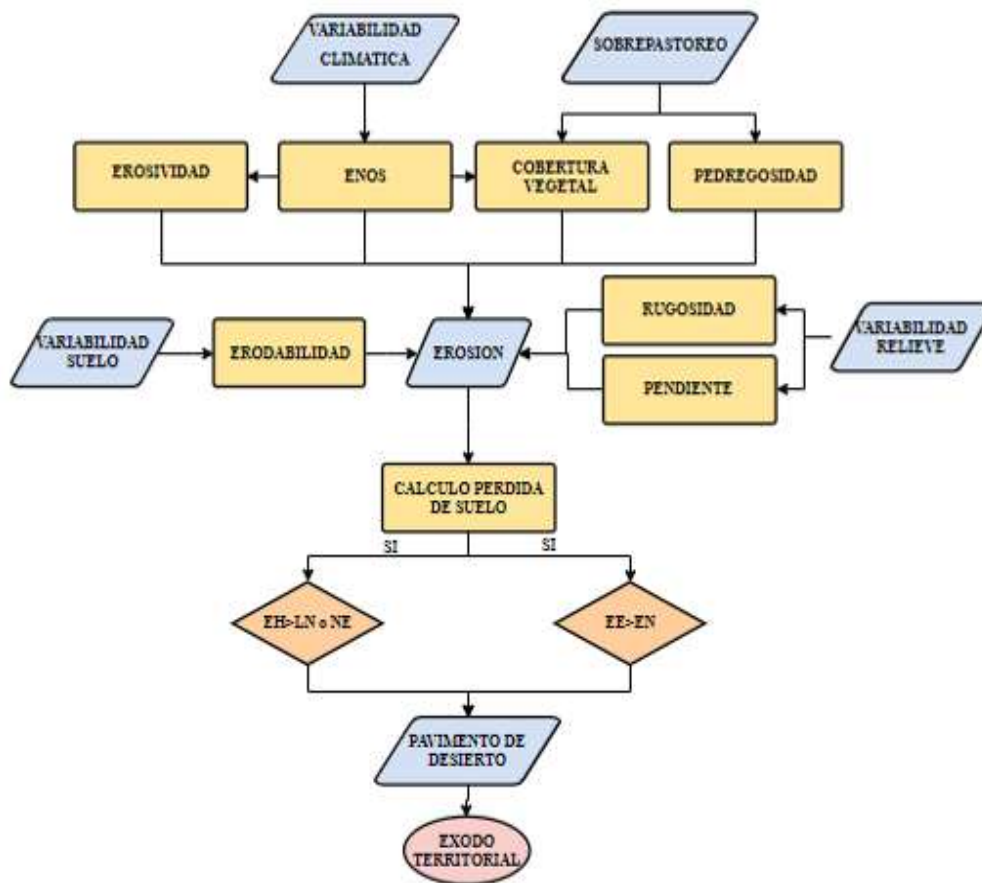


Figura 1.3. Las oscilaciones climáticas, la degradación por erosión y la consecuencia final sobre la población. Fuente: Elaboración propia.

Se delimitaron las tierras más amenazadas a la pérdida de la capacidad productiva de sus tierras, que provocarían su abandono por falta de sostenibilidad y sustentabilidad. A partir de información confiable generada por esta tesis, los decisores políticos podrán conocer cuándo y dónde deben realizar gestión sobre el ambiente y territorio. Además, los actores locales podrán organizarse y asociarse para reclamar la colaboración a las autoridades. Se podrán elaborar distintos escenarios futuros, monitorear, desarrollar alertas tempranas y predecir las consecuencias de la degradación por erosión. Se analizarán los cambios espacio temporales de la erosión de los suelos considerando las condiciones de sus habitantes (muchas veces postergados) y se podrá pronosticar las posibles consecuencias frente a estos escenarios de eventos extremos. Se realizó un análisis crítico de la degradación de las tierras, como un problema complejo de conservación, que será abordado aplicando la teoría social del riesgo. Se proponen algunas medidas de manejo sustentable de la tierra para mitigar los efectos de la erosión sobre la población y los servicios ecosistémicos.

Si el cambio climático incrementa la frecuencia de la fase El Niño, aumentará la erosión eólica y la emisión potencial de PM10 de los suelos. Esta última es la medida en laboratorio usada para evaluar la intensidad de emisión, la composición y el impacto de los aerosoles minerales sobre la salud y el ambiente (Gill y otros, 2006) y su incremento afectará la salud de las poblaciones de la Puna.

Se discutió el uso ganadero de la tierra, las características ambientales, la amenaza de degradación de la tierra y su relación con el ENOS y algunos índices socioeconómicos, cuales son sus necesidades, su exposición y el grado de vulnerabilidad de la población. Se obtuvieron mapas generados por la intercepción de la información generada en los mapas de promedio de erosión hídrica y eólica de cada fase con los mapas de variables socioeconómicas sensibles, ya sea por la densidad poblacional como las características sociales de los habitantes, adquiridas del censo de población y vivienda 2010. Se compararon territorios con distintos niveles de alfabetismo, desempleo, hogares con NBI y se analizó y discutió los resultados en el marco de la teoría social del riesgo.

Se exhiben mapas, tablas y Figuras con flujogramas, resultados y discusión, conclusiones, propuestas y bibliografía

Esta tesis se encuentra alineada con los efectos de las variaciones y oscilaciones climáticas sobre las poblaciones y comunidades rurales más pobres y pretende colaborar con la gestión del territorio, brindando bases para el mejor desempeño de estas comunidades.

En síntesis se propone realizar un estudio que relacione el impacto de las oscilaciones climáticas, especialmente el ENOS, en algunas variables ecológicas y en especial en la degradación de las tierras, con foco en erosión eólica e hídrica mediante análisis estadísticos de información de variables generadas a partir de datos climáticos, hidrológicos, vegetación natural y de información de degradación de las tierras por erosión de una serie temporal de más de 15 años, se obtuvieron gráficos, tablas funciones y algoritmos y la producción de cartografía de mapas de erosión eólica e hídrica que será cruzada con análisis de información de variables socioeconómicas y la generación de mapas territoriales. Basado en el análisis de Castro y Zusman, (2009), está aportando conocimiento de los cambios del comportamiento del riesgo biofísico causado por el ENOS sobre el ambiente de la Puna, contribuyendo en la disminución de la incertidumbre sobre la localización la degradación de las tierras y sus cambios en eventos extremos. Sin embargo, la amenaza de la DT sobre esa población altamente vulnerable puede incrementarse por el sobrepastoreo y el cambio climático a pesar de la resiliencia de sus habitantes.

Se hizo una síntesis de logros y alcances de los resultados de la tesis en la última parte. Se presenta un resumen de las hipótesis aprobadas, parcialmente aceptadas o rechazadas. Se proponen nuevas hipótesis a desarrollar en futuras investigaciones, consideraciones generales y conclusiones de la tesis.

1.6 Fuentes

Primera sección

- Fuentes

Repositorio interno de la UBA (Filosofía y Letras, Cs. Exactas y Agronomía), SISBI, SCOPUS. Recopilación y actualización bibliográfica.

Segunda sección

- Fuentes **O1**

Se usó la información existente en estudios previos de la región entre las que podemos mencionar:

Allmendinger y otros, (1997); Bianchi y otros, (2005); Borgnia y otros (2006 y 2010); Braun Wilke y otros, (1991, 2001 y 2002); Buitrago, (2000); Burgos, (1963); Cabrera, (1957 y 1971); Ergueta y Gómez, (1997); Herrmann and Hutchinson, (2005); Hoffmann (1971); Maccarini y otros, (1995); Matteucci, (2012); Meigs, (1953); Middleton, y Thomas, (1997); Mosca Torres and Puig, (2010); Movía y Navone (1994); Nadir y Chafatinos, (1990); Navone, (1996 y 1998); Navone y Maggi, (2011); Oyarzabal y otros, (2014); Paoli y otros (2009); Ribera, (1992); Rocca, (1984); Rojo, (2010); Ruthsatz, (1974); Ruthsatz y Movia, (1975); Seely, (2004); Tecchi, (1991 y 1998); Thornthwaite and Mather, (1948); UNCCD, (2007); UNESCO, (1981); Vorano y Vargas Gil, (2002); Wilke y otros (2001) y Young y otros, (1997).

Se utilizó imágenes satelitales en los rangos visible e infrarrojo cercano del espectro electromagnético, provistas por los siguientes sensores: SPOT (2.5 m de resolución espacial), SENTINEL, ASTER y LANDSAT de alta resolución espacial (15-30 m) y bajo tiempo de revisita; MODIS de alta frecuencia temporal y baja resolución espacial (1 km, 250 m); productos de imágenes de radar SRTM. De este modo se aprovecharán las sinergias y los complementos entre los distintos tipos de sensores.

- Fuentes **O2 O3 O4**

En la Puna Jujeña, existen dos estaciones meteorológicas con una serie larga de datos observacionales: La Quiaca (22° 6' S, 65° 40' O, 3459 m SNM) y Abra Pampa (22° 48' S, 65° 49' O, 3463 m SNM).

Se utilizó además los datos de precipitación acumulada mensual de las cuatro estaciones meteorológicas del NOA pertenecientes al SMN que circundan el área de estudio y poseen una larga serie de registros. La Tabla 1.2 muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas pertenecientes al SMN.

Tabla 1.2. Estaciones meteorológicas del SMN en el NOA.

Provincia	Nombre	N°	Ubicación	Altitud msnm
Catamarca	Catamarca Aero	87222	28°36'S 65°50'O	454
Jujuy	La Quiaca Obs.	87007	22°06'S 65°40'O	3.459
La Rioja	La Rioja Aero	87217	29°23'S 66°50'O	429
Salta	Salta Aero	87047	24°51'S 65°30'O	1.221
Tucumán	Tucumán Aero	87121	26°51'S 65°10'O	450

Fuente: SMN y elaboración propia.

- Fuentes **O5**

Imágenes Landsat TM, ETM+ y OLI para detectar y medir los cambios de la superficie de la laguna.

Los datos de NDVI son provistos por MODIS Vegetation Index 16-Day L3 Global 250m (Huete y otros, 2002). Como este producto de NDVI tiene una resolución temporal de 16 días, se obtendrán dos imágenes mensuales para cada año de la serie 2000/2015. Se analizarán las estadísticas.

Se utilizó las imágenes satelitales ópticas y radar, mapas de suelo, vegetación y geomorfología y grillas de datos climáticos como fuente de los valores y registros necesarios para aplicar los modelos de las ecuaciones de estimación de la erosión Ecuación Universal de pérdida de suelo (EUPS) y Ecuación de erosión por viento revisada (RWEQ).

Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)

Imágenes SRTM NASA (Shuttle Radar Topography Mission)

Los datos de campo en el período mencionado han sido relevados utilizando la misma metodología que en el año 1995 (Navone y otros, 2006), lo que permite su comparación según lo planificado en esta propuesta. Estos relevamientos se basan en protocolos que son los propuestos por el grupo de científicos del proyecto LADA (Land Degradation Assessment in Drylands) de Argentina. Dichos protocolos y sus metodologías asociadas fueron aplicados en el proyecto FAO/LADA (SAyDS, 2011) y actualmente han sido adoptados y mejorados por el ONDTyD (CONICET y MAyDS).

- Fuentes **O6 O7 y O8**

Grilla GPCC

Algoritmos calculados para la estimación de la cobertura vegetal

Mapa de suelos unidades ambientales de referencia

Imágenes satelitales ópticas y radar

Ecuaciones y funciones de EUPS y RWEQ

Mapas de población y división política. IGN

Censo Nacional de Población y Vivienda 2010 INDEC

La información de las precipitaciones es escasa o nula en la región del NOA debido a que la red meteorológica convencional es limitada, por esto los datos de precipitación mensual serán complementado con los obtenidos de las estimaciones realizadas por el Global Precipitation Climatology Centre (GPCC), organizados en una grilla con una resolución espacial de 0,5° x 0,5° (Meyer-Christoffer, y otros, 2011). Además, se analizaron los datos meteorológicos, principalmente precipitación, viento y temperatura del aire, obtenidos por la Estación La Quiaca perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional y la Estación Abra Pampa perteneciente al INTA. Puesto que algunos datos mensuales de precipitación pueden estar muy alejados de sus valores climáticos, se analizaron para dichos casos las series de datos diarios, teniendo en cuenta que estos pueden estar afectados por errores de observación y transcripción (Barrera, 1988).

Se realizó una discusión de la integración de los mapas biofísicos de degradación de las tierras por erosión en sus distintas fases del ENOS con datos obtenidos del censo nacional de población y vivienda INDEC (2010). Además, sus

resultados fueron examinados con los criterios e información de Castro y Zusman, (2009); Echenique y otros (2014); Foladori (2007); Holling y otros (2002); Lavell, (2011); Natenzon, (1995, 1998 y 2003); Navone y Maggi (2011); Obschatko, y otros (2006); ONDTyD; Oxfam; Forni, (1990); Pettengell, (2010); Reboratti, (2007); Tomasi, (2013); Viand, (2009); Zusman y Castro, (2007).

Se realizaron más de 25 campañas en la Puna de Jujuy en distintas épocas del año entre 1996 y 2016 con integrantes de la Cátedra Manejo y Conservación de Suelos FAUBA, dirigidas por las Profesoras Clara Movia, Stella Navone y el Profesor Alejandro Maggi y financiadas por UBA, LADA FAO, CONAE y el ONDTyD. Se hicieron relevamientos de suelos, vegetación, agua, erosión siguiendo protocolos de FAO, ONDTyD y encuestas a informantes calificados y aplicando el manual de encuesta del ONDTyD.

Sección 2

Capítulo 2

Capítulo 2. Caracterización Biofísica de la Puna de Jujuy. Heterogeneidad ambiental a partir de estudios previos. Delimitación de macroambientes integrando la información y datos obtenidos de diversas fuentes.

2.1. Introducción

El sector argentino del Altiplano andino (conocido como Altiplano Boliviano) incluye la “La Puna” considerando la escala sudamericana. La Puna se caracteriza por su ubicación a una altitud superior a 3000 msnm. Como parte del sector sur del Altiplano, tiene un clima seco y frío con escasas precipitaciones concentradas en el período octubre-abril y mayormente en el verano (Bianchi y otros, 2005). Su topografía es compleja, según puede observarse en la Figura 3.1.

La Puna de acuerdo con Cabrera (1971) se divide en tres zonas de precipitaciones bien marcadas: la Puna húmeda, situada en la parte septentrional y oriental con abundantes ríos y lagunas (> 400 mm); la Puna seca, situada al sur y al oeste de la anterior, con ríos y lagunas, pero también con salares (100-400 mm); y la Puna desértica o de Atacama situada en la parte occidental y austral, donde no hay ríos ni lagunas, solamente vegas y grandes salares (< 100 mm).

2.2. Caracterización climática de la región NOA y de La Puna. Regímenes de precipitación y de viento.

2.2.1. El monzón sudamericano y su influencia sobre la precipitación en el Noroeste Argentino y en La Puna.

La circulación atmosférica de gran escala y regional de Sudamérica es la causante de un régimen de precipitación estival en el trópico y subtrópico del continente, conocido como el Monzón Sudamericano (MS). Luego del equinoccio de primavera, el inicio de la convección profunda en la región amazónica al sur del Ecuador, junto con los vientos alisios, inducen un flujo de aire cálido y húmedo hacia el este, que al chocar con la cordillera de los Andes gira hacia el sur. Este flujo es prevaleciente entre octubre y abril (González y Barros, 1998; Nogués-Paegle y otros, 2002; Barros y otros, 2002; Vera y otros, 2006)).

Como respuesta dinámica, por un lado, al calentamiento de la alta tropósfera generado por la convección profunda sobre la región amazónica -con la consiguiente liberación de calor latente-, y por otro, al debilitamiento del gradiente térmico meridional Ecuador-Trópico que ocasiona el debilitamiento y desplazamiento hacia el sur de la corriente en chorro subtropical, se establece un centro de alta presión en la tropósfera media y alta conocido como Alta de Bolivia (Silva Dias y otros, 1983; Lenters y Cook, 1997). En término medio el centro está ubicado en 15°S y 65°O (Vuille, 1999, Vera y otros, 2006). Es persistente y se puede observar en los campos

medios mensuales y estacional de altura geopotencial en 300 hPa (Garreaud y otros, 2009).

Además, en el semestre cálido se desarrolla en niveles troposféricos bajos un centro de baja presión en la región del Chaco y es conocido como Baja del Chaco (BCH) (Nogués-Paegle y otros, 2002; Vera y otros, 2006; Seluchi y Saulo, 2012a). La BCH está centrada en las planicies del oeste de Paraguay y sur de Bolivia, en aproximadamente 21°S y 61°O (Seluchi y Garreaud, 2012).

La variabilidad temporal de la Baja del Chaco está estrechamente relacionada con las variaciones del espesor 500/1000 hPa, ya que durante ese proceso de variación de intensidad la altura geopotencial prácticamente no varía por encima del nivel de 500 hPa (Seluchi y Garreaud, 2012).

La intensificación de la Baja del Chaco está asociada a la ocurrencia de precipitación convectiva, que provoca liberación de calor latente, y a la presencia de cielo poco nublado, asociado probablemente a subsidencia pre-frontal (descenso de la capa de aire en una región extensa) que favorece la presencia de fuertes flujos superficiales de calor (Seluchi y Garreaud, 2012). Dicha intensificación es principalmente de carácter térmico, ya que la altura geopotencial del nivel de 1000 hPa y el espesor 500/1000 hPa varían en forma semejante y con signo opuesto, mientras que el geopotencial en 500 hPa no sufre modificaciones importantes (Seluchi y Garreaud, 2012).

Su disipación está ligada básicamente al pasaje de un sistema frontal, que provoca advección fría generalizada (horizontal y vertical) y el aumento de la cobertura nubosa (Seluchi y Garreaud, 2012).

Por otra parte, la llamada Baja del Noroeste Argentino (BNOA) es una región de baja presión de origen termo-orográfico elongada en sentido meridional al este de los Andes, con centro aproximadamente en 30°S y 65°O, más al oeste y al sur que la BCH (Schwerdtfeger, 1976; Lichtenstein, 1980; Seluchi y otros, 2003; Ferreira y otros, 2010). Se desarrolla sobre una región desértica y semi-desértica, y por su pobre contenido de humedad tiene variabilidades diurnas marcadas tanto en la presión como en la temperatura (Ferreira, 2010; Seluchi y Saulo, 2012b). Su profundización en verano favorece el transporte hacia el sur de aire húmedo desde la región amazónica al este de los Andes. Posee generalmente una inversión térmica en los niveles atmosféricos de 850/925 hPa (Seluchi y otros, 2003).

Debido a la presencia de estos vórtices ciclónicos (BCH y BNOA), el flujo de aire cálido y húmedo proveniente del norte es canalizado en la tropósfera baja entre las faldas orientales de la cordillera de los Andes y la meseta central de Brasil, confinado a niveles inferiores a los 700 hPa (aproximadamente 3000 m de altitud). La circulación ciclónica alrededor de la BCH puede aportar aire húmedo a la región sudeste del Altiplano, dependiendo principalmente de las condiciones dinámicas en la alta tropósfera.

En conexión con la Alta de Bolivia aparecen vientos del este en la tropósfera media y alta sobre los Andes Centrales, que favorecen el transporte hacia el Altiplano del aire húmedo continental situado al este de aquel, el cual es necesario para el desarrollo de la convección profunda sobre el Altiplano (Garreaud y Seluchi, 2001; Garreaud y otros, 2009). Según Garreaud y Seluchi (2001) los episodios de lluvia en la Puna ocurren cuando la Alta de Bolivia, en el nivel de 200 hPa, se halla centrada

aproximadamente en los 19° S, con vientos comparativamente más intensos sobre los subtropicos en relación a los días secos, con una marcada curvatura anticiclónica. Estos autores afirman que la clave de la ocurrencia de lluvia en la Puna parece estar en los niveles altos, ya que en los niveles bajos no encontraron diferencias en la circulación entre los días lluviosos y secos, lo que descarta un papel principal de la BNOA o la BCH con respecto a dicha ocurrencia.

Adicionalmente, el clima del HS está regulado por los anticiclones semipermanentes del Pacífico y el Atlántico Sur. La circulación anticiclónica alrededor de este último aporta humedad desde el Atlántico hacia Sudamérica tropical y subtropical e incide sobre el MS (Nogués-Paegle y otros, 2002; Mechoso y otros, 2004; Lau y Zhou, 2003).

En la Puna, durante el semestre cálido el calentamiento diurno de la superficie conduce a la desestabilización de la capa límite planetaria, que eventualmente - dependiendo de la circulación del aire en niveles troposféricos altos- induce convección profunda en la tarde y noche, la cual convierte en lluvia la humedad advectada desde el este (Garreaud, 1999; Garreaud y Seluchi, 2001). Dicha advección también produce lluvias entre octubre y abril en las estribaciones de la Puna Jujeña (Barrera y Basualdo, 2012). Buitrago (1999) analizó los datos pluviométricos existentes en la provincia de Jujuy (de diversas fuentes) y concluyó que la altitud aproximada de 2000 msnm marca el nivel máximo de las precipitaciones de dicha provincia. Hacia arriba y hacia abajo la lluvia disminuye en forma apreciable. Esta conclusión está en armonía con la altitud media del nivel de condensación por convección en las estribaciones de la Puna Jujeña (Barrera y Basualdo, 2012). La posición e intensidad de la Alta de Bolivia influye decisivamente sobre la ocurrencia de secuencias de días lluviosos y secos (Garreaud y Seluchi, 2001).

Varios autores estudiaron la variabilidad interanual de la precipitación en el sector central y norte de la Puna (Aceituno y Montecinos, 1993; Vuille, 1999; Vuille y otros, 2000; Garreaud y Aceituno, 2001; Ronchail y Gallaire, 2006; Garreaud y otros, 2009). Sin embargo, muy poco se sabe sobre la variabilidad interanual y de baja frecuencia de la precipitación en el sudeste del Altiplano (Puna Jujeña), temática que se aborda con especial énfasis en este trabajo de tesis.

2.2.2. Transición climática del Pacífico (TCP). Relación con saltos climáticos observados en el sur de Sudamérica en la década de 1970.

Está demostrado que en el término de un año -1976/1977- ocurrió una transición climática brusca en el sistema acoplado atmósfera-océano (TCP), que conecta la temperatura de la superficie del Océano Pacífico con parámetros climáticos en muchas regiones del planeta (Namias, 1978; Ebbesmeyer y otros, 1991; Miller y otros, 1994; Solomon y otros, 2007; Meehl y otros, 2013). Los cambios de régimen podrían deberse a modificaciones en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical (Huang y otros, 2005), que estarían acompañando a la llamada Oscilación Decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés) (Garreaud y Aceituno, 2001; Newman y otros, 2016).

Por otra parte, los datos de temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial muestran que desde 1950 los eventos El Niño han sido débiles y de corta duración, mientras que los eventos La Niña fueron en general intensos y más

duraderos; este patrón se invirtió a partir de 1977 (Vuille y otros, 2000). Jacques-Coper y Garreaud (2015) sugirieron que el fenómeno de variabilidad interanual “El Niño - Oscilación del Sur” (ENOS) (ENSO por sus siglas en inglés), conjuntamente con la Oscilación Decadal del Pacífico tuvieron una incidencia decisiva en la TCP.

Vargas y otros (1995) detectaron un salto climático en enero de 1974, evidenciado por una disminución abrupta en el gradiente meridional de presión, lo cual causó un debilitamiento de la circulación zonal (oeste-este). Esto coincidió con un aumento en la precipitación en el sur de Sudamérica, lo cual indicaría que el debilitamiento de la circulación zonal permitió un reforzamiento de la circulación nortesur del Monzón Sudamericano.

Minetti y Vargas (1997) detectaron aumentos abruptos en la precipitación media treintañal en el sur de Sudamérica al este de los Andes al comparar los valores medios de subperíodos consecutivos de 30 años. Encontraron ascensos abruptos que denominaron “saltos climáticos” en la mayoría de las 34 localidades de la Argentina estudiadas, con incrementos relativamente mayores y más tempranos en el este - mediados de la década de 1940- y menos importantes y posteriores en el centro-oeste del territorio argentino -décadas de 1950 y 1960. Estos hallazgos abarcan hasta mediados de la década de 1960 debido a la disponibilidad de datos que tuvieron estos autores.

Agosta y Compagnucci (2008) estudiaron el efecto de la TCP sobre las precipitaciones en la región centro-oeste de Argentina, al sur de La Puna. Observaron una fluctuación cuasi-bidecádica prevaleciente hasta mediados de la década de 1970 que da ciclos alternantes húmedo/seco de aproximadamente 9 años de duración cada uno. Tras la TCP de 1976/77 la fluctuación se deforma, y como resultado se tiene un evento húmedo prolongado durante 30 años, que comenzó en 1973 (Compagnucci y Agosta, 2008; Russian y otros, 2015).

2.2.3. El Niño - Oscilación del Sur y sus impactos conocidos sobre la Puna.

El fenómeno climático ENOS es un proceso oceánico-atmosférico que causa, entre otras cosas, anomalías climáticas de temperatura en las aguas superficiales del Océano Pacífico ecuatorial; consta de dos fases anómalas contrapuestas: cálida (llamada El Niño) y fría (llamada La Niña) (Barnston y otros, 1997; Trenberth, 1997). Se manifiesta en el gradiente zonal de presión en superficie en el Pacífico ecuatorial, y ha sido históricamente detectado mediante el Índice de Oscilación del Sur (SOI por sus siglas en inglés) (Troup, 1965).

Los efectos del ENOS incluyen cambios en los regímenes de precipitación y otras variaciones climáticas en distintas regiones del planeta (Ropelewski y Halpert, 1987). Entre estas regiones está el Altiplano, que ocupa áreas de Perú, Chile, Bolivia y el Noroeste Argentino (NOA). El calentamiento (enfriamiento) de la tropopausa tropical durante la fase cálida (fría) del ENOS resulta en una intensificación (debilitamiento) de los vientos del oeste en altura, en latitudes subtropicales justo al este de los Andes y a una intensificación (debilitamiento) de la Alta de Bolivia (AB) junto con una intensificación (debilitamiento) del flujo noroeste-sudeste en capas bajas en el flanco oriental de la cordillera de los Andes (Vuille, 1999). Ello conduce a un decrecimiento (crecimiento) del transporte regional de humedad hacia la Puna desde las tierras bajas al este de aquella.

Consecuentemente, durante períodos Niño las precipitaciones son generalmente inferiores al promedio histórico, y parecería ser a la inversa durante eventos Niña, aunque la señal en este caso es más débil. Esta disminución de la precipitación en el Altiplano que generalmente ocurre durante una fase cálida (El Niño) estaría también relacionado con la inhibición de la convección profunda debida a la intensificación de la AB (Vuille, 1999; Trauth y otros, 2000; Diaz y otros, 2001; Garreaud y Aceituno, 2001; Nogués-Paegle y otros, 2002).

Según Garreaud y Seluchi (2001) la intensidad y posición del jet subtropical en la alta tropósfera parece ser la causa más importante para facilitar o dificultar el ascenso del aire húmedo desde las planicies ubicadas al este hacia el altiplano, y probablemente allí reside la relación entre la precipitación altiplánica y las fases del ENOS, ya que este modifica el comportamiento del Jet. En algunos casos esta relación causa-efecto no se cumple, lo cual indica que hay otros factores intervinientes. Según Ambrizzi y otros, (2004), un segundo factor se origina en la intensificación del gradiente meridional de la temperatura de la superficie del mar en el Atlántico intertropical, que ocasiona un reforzamiento de la zona de convergencia del Atlántico Sur, lo que a su vez modifica la circulación troposférica sobre el Altiplano y consecuentemente impacta en la precipitación.

La ocurrencia de más eventos cálidos y menos fríos a partir de mediados de la década de 1970 estaría relacionada con un cambio en la circulación en el Pacífico - transición climática- en ese tiempo (Vuille y otros, 2000).

2.2.4. Vientos y rafagiosidad en la Puna.

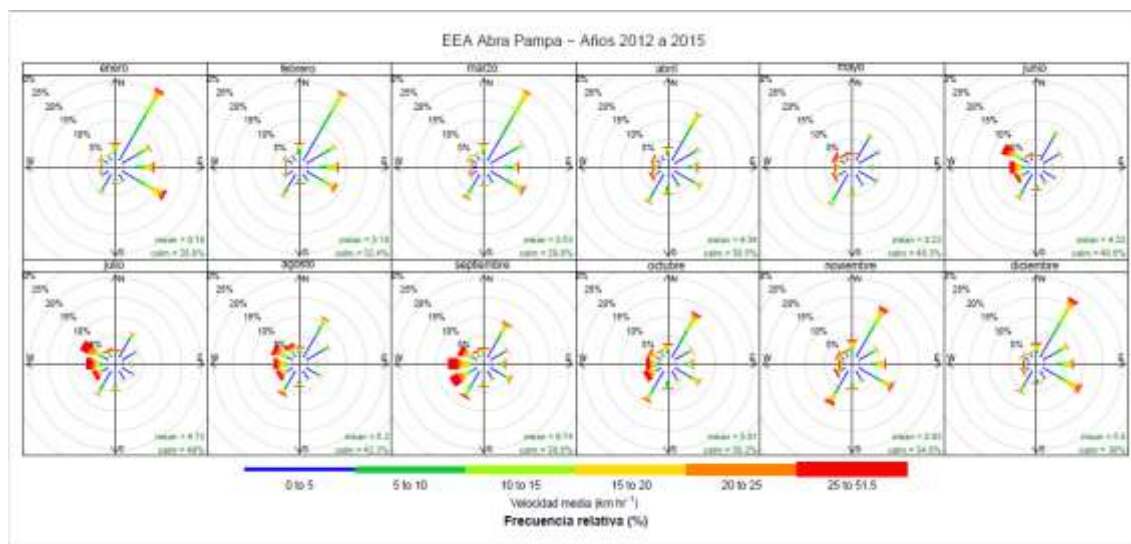


Figura 2.3. Vientos. Fuente: Eduardo Ochner EEA INTA Abra Pampa

En el Noroeste Argentino el altiplano de la Puna se comporta como una aislada superficie de considerable calentamiento en altura, que ocasiona un fuerte ascenso de aire caliente en la atmósfera. Prácticamente toda la radiación neta disponible se utiliza en dicho calentamiento, dado que la evaporación en esa región árida es insignificante. El aire que asciende sobre la superficie puneña debe ser compensado por aire

procedente de las zonas vecinas más bajas, siendo muy fuertes los sistemas de vientos locales durante el día, valle arriba en las quebradas que bajan de la Puna (en msnm).

La Puna, con una altitud media de aproximadamente 3.900 m, configura un relieve con forma de cubeta con un elevado borde oriental (alcanza más de 5.000 m en las sierras de Santa Victoria y del Aguilar y más de 6.000 m en los nevados de Chañi, Palermo y Cachi). Esta orografía, en combinación con la circulación atmosférica regional, da lugar a región árida de altura. En altitudes superiores a los 4.000 m, la extrema sequedad del aire, la baja temperatura y los pronunciados cambios de ésta entre el día y la noche hacen que la vida tanto animal como vegetal sea muy exigua. En el oeste, sólo los picos muy elevados, que pueden alcanzar la zona de circulación atmosférica del Pacífico presentan sus cumbres nevadas. En ellos, el límite inferior de las nieves permanentes se encuentra por encima de los 6.000 m.

En las imágenes satelitales, frecuentemente se aprecia que las quebradas carecen de nubosidad. Las nubes se ubican sobre las líneas de cumbres y ello se debe justamente a la circulación ascendente sobre las laderas, las que fueron calentadas por la insolación recibida durante el día, en horas de la mañana y temprano en la tarde. En síntesis, el aire asciende sobre las laderas y las nubes se forman sobre las crestas orográficas, las cuales actúan como divisorias de aguas y delimitan las cuencas hídricas.

La atmósfera tiene un bajo contenido de humedad, favoreciendo los grandes cambios térmicos. Las tormentas de vientos fríos son fuertes y frecuentes. Estos mismos vientos, por las características topográficas de la zona, pueden tomar rumbo sur, descendiendo por las quebradas. En este descenso va calentándose adiabáticamente y aumentando su velocidad hasta convertirse en un fuerte viento cálido y seco, con ráfagas que alcanzan los 120 km/h, que se conoce localmente como "Viento Norte", que tiene características de Föhn y es común que su influencia llegue a la zona de clima subtropical serrano, situado más al este (Buitrago y Larran, 2000).

El viento presenta su mayor intensidad hacia primavera, y coincide con el final de la estación seca y el consiguiente el estiaje de los ríos, sus lechos están en su mayor parte secos dejando mucho material transportado por erosión hídrica que puede ser retransportado por erosión eólica. Las lagunas a veces totalmente secas disponen también en sus playas mucho material erosionable por el viento en primavera y a todo ello se suman como fuente de arena, las abundantes dunas geológicas que se encuentran en el territorio. Los menores registros de velocidades de viento ocurren hacia mediados de otoño. La velocidad del viento promedia los 25 km/h en el sur de la Puna (UTF – PROSAP, 2005). La magnitud y dirección de los vientos en Abra Pampa por mes se pueden observar en la Figura 2.3.

La presión atmosférica es muy baja, la mitad de la observada a nivel del mar. La información provista en las estaciones meteorológicas generalmente esta corregida por la altura de la misma sobre el nivel del mar, pero la real corresponde a la mitad debido que a que el peso de la columna de aire es menor al disminuir su densidad con la altura. En promedio: La Quiaca 672 hPa y en Tres Cruces 650 hPa.

Los meses de ocurrencia de los vientos más fuertes son agosto y septiembre, y se han informado velocidades de 68 y 125 km/h en las localidades de Abra Pampa y La Quiaca respectivamente (Minetti y otros, 1999 b) (Tabla 2.1.). Se observó que en promedio más de una vez al año ocurren vientos fuertes. Los vientos mayores o

iguales que 20 km/h registrados a una altura de 30 cm son considerados importantes para desencadenar el proceso de erosión eólica (Chepil y Woodruff, 1963).

Tabla 2.1. Frecuencia de vientos fuertes, velocidad máxima, dirección y mes/es de ocurrencia para Abra Pampa y La Quiaca (período 1981-1990)

LOCALIDAD	Años de observación	Frecuencia de Vientos Fuertes	Vientos Máximo (km/h)	Dirección	Mes/es de ocurrencia
Abra Pampa	10	13.9	68	O	AGOSTO
La Quiaca	9	15.8	125	N	SEPTIEMBRE

Fuente: Minetti y otros 1999.

Estos datos son coincidentes con los publicados por otros autores quienes describen que en invierno y primavera son frecuentes fuertes vientos que provocan la voladura del suelo. Los vientos son fuertes y turbulentos con velocidades frecuentes de 20 a 30 km/hora; durante el período lluvioso predominan los de los cuadrantes N y E y en el invierno los del S y O. Los vientos acentúan la sequedad de la región y, junto con la gran variabilidad interanual de las precipitaciones, contribuyen a generar períodos plurianuales de sequía que interfieren con la actividad agropecuaria (Tecchi, 1991; Tecchi y García Fernández, 1998).

En la Pre Puna, en invierno y primavera son frecuentes fuertes vientos que provocan la voladura del suelo. En los meses de invierno, la Puna se ve azotada por vientos causantes de procesos erosivos severos que generan tormentas de polvo. Entre 1989 y 1990 se reportaron 3 días con tormentas de polvo en Julio para la localidad de La Quiaca (Paoli y otros, 2002) (Tabla 2.2.).

Tabla 2.2. Tormentas de polvo en La Quiaca 1989-1990.

La Quiaca	Julio	Enero	Promedio por año
Número de días con Tempestad de Polvo	3	0	16.3
SMN Período 1989-1990			

Fuente: Paoli 2002.

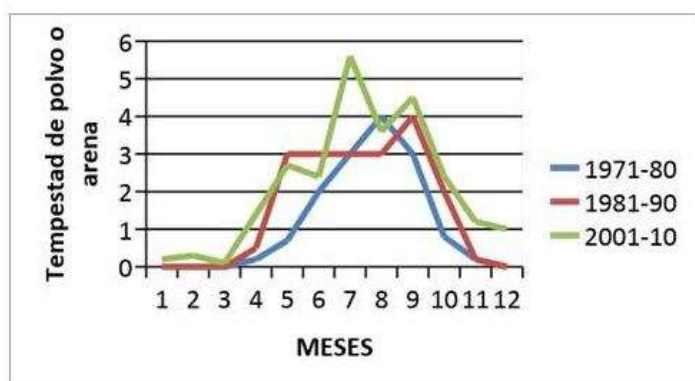


Figura 2.4. Promedio de tempestad de polvo por mes en tres décadas. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Elaboración propia.

En la Figura 2.4 se destaca que la mayor frecuencia de tormentas de polvo para La Quiaca ocurre entre invierno y principios de primavera, independientemente de la década escogida. Este es el lapso con fuertes vientos, el cual coincide con una baja cobertura vegetal ya que recién en octubre comienza el período de lluvias.

Una hipótesis a investigar sería la ocurrencia de una mayor cantidad de tormentas de polvo coincidente con la fase El Niño.

En la Figura 2.5 se ve cómo las mayores velocidades promedio en todas las décadas, para La Quiaca, ocurren a fines de invierno y primavera.

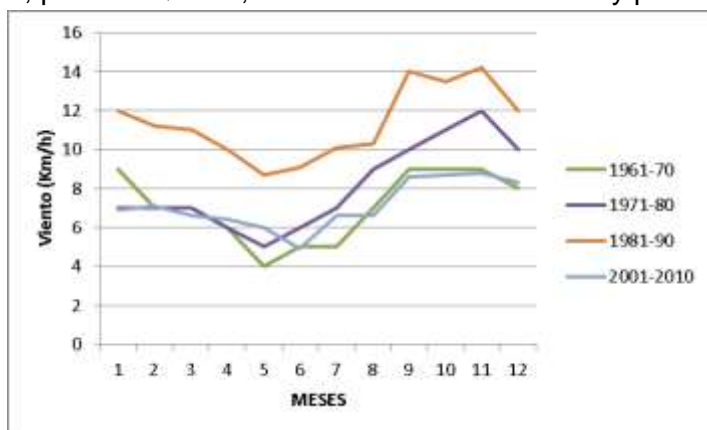


Figura 2.5. Fuente: SMN. Elaboración propia.

En la Figura 2.6, generada a partir de datos de la Estación Experimental (EEINTA Abra Pampa), notamos que los vientos promedio más intensos ocurrieron desde junio a octubre, entre los años 2014 y 2016. De acuerdo con estos promedios diarios, es muy probable que hayan existido frecuentemente velocidades instantáneas superiores a un valor umbral de 20 km/h (Chepil y Woodruff, 1963; Goldberg y Kin, 2003). El 73 % de los días en ese período se superó ese umbral, siendo el máximo valor registrado de 73 km/h.

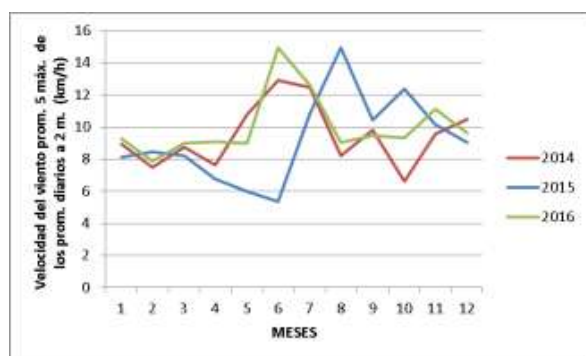


Figura 2.6. Fuente: EEINTA A. Pampa. Elaboración propia.

Todos estos antecedentes nos permiten concluir que existen condiciones predisponentes a la erosión eólica en la región y que estas varían en su intensidad todos los años. Las planicies onduladas pueden estar cubiertas por clastos pulidos por

el viento, donde este se ha llevado el material pequeño y liviano, quedando los de mayor tamaño y formando los clásicos pavimentos de desierto. A su vez, los clastos que se encuentran en diferentes ambientes geomorfológicos. En los derrubios de ladera son de bordes agudos y en los sitios de corrientes estacionales son de gran tamaño frecuentemente con rodajas.

Ecorregiones en el area de estudio
este creo que seria un titulo mas apropiado a lo que explicas en el texto.

2.3. Relieve, suelo y vegetación.

La palabra Puna en quechua significa tierra alta o pampa elevada. **Figura 2.7.**

El ambiente puneño ocupa 31,000 km² en la provincia de Jujuy, mientras que tanto a las provincias de Salta y Catamarca le corresponden en conjunto unos 29,000 km².

La Puna está integrada por cerros y sierritas áridas rodeadas por llanos en dirección N-S que superan los 5,500 msnm. Geomorfológicamente es una zona tectónica pliocena, rellena con el aporte de sedimentos coluvio-aluviales, y afectada a principios del período Cuaternario por el ascenso de las Cordillera de los Andes. Es un ecosistema frágil por sus características climáticas, geomorfológicas, edáficas y de vegetación. Cuando sus recursos naturales son mal utilizados por el hombre se llega a una situación irreversible que acelera los procesos de la desertificación. **Navone y Maggi, 2011.**

Cuaternario

Los parrafos se componen de dos o más oraciones

Desde la visión geológica y a causa de las fracturas, la Puna está segmentada en bloques con forma de paralelepípedos. La fragmentación transversal ha determinado su división en dos subregiones que difieren en las características de los depósitos cuaternarios y en la metalogenia (Alonso y Viramonte, 2004). La porción Norte, desde los 22 a los 24° Lat Sur coincide aproximadamente con la Puna Semiárida, mientras que la Austral, se ubica entre los 24 y 27° Lat Sur y comprende la Puna Salada y el extremo Norte de la Puna Árida.

La provincia geológica de La Puna, que abarca las Ecorregiones Puna y Altos Andes hasta el paralelo 27° Lat Sur, es una de las regiones argentinas más ricas en depósitos minerales, incluyendo gran número de metales, no metales y rocas de aplicación industrial (Alonso y Viramonte, 1987).



Figura 2.7. Ecoregión Puna. Fuente: MAyDS. Elaboración propia.

La Puna argentina es una altiplanicie atravesada longitudinalmente por cordones montañoso que forma cuencas endorreicas con laguna o salares en las posiciones más bajas. El sistema de desagüe, mayormente endorreico, acumula en los sectores centrales de las depresiones tectónicas sedimentos y solutos en enormes playas salinas formando salares, un rasgo fundamental de la Ecoregión. Se encuentran playas húmedas que terminan en lagunas casi permanentes como las de Los Pozuelos y Guayatoyoc y playas áridas con depósitos salino-alcinos arcillosos cuarteados en grandes polígonos de retraimiento. En sus contornos se suceden abanicos aluviales de pendiente moderada con suelos incipientes y hacia las divisorias de agua que delimitan las cuencas cordones montañosos de dirección SO-NE de mucha pendiente y rocas en superficie. El otro componente fundamental del relieve son los amplios campos medanosos de las bajadas. [Matteucci, 2012. Figura 2.8.](#)





cual es cual??? que serían las líneas rojas y amarillas???

Figura 2.8. Erosión eólica en la Puna de Jujuy. Agradación por sedimentación, Degradación por deflación. Fuente y elaboración; propia.

Geomorfología

2.3.1???

La geomorfología de la región está dominada por:

diferentes complejos...

- Los cordones montañosos que circundan y limitan el bolsón.
- Los glaciares que rodean las lagunas por el este y el oeste, interrumpidas por algunos conos de deyección. ver Figura 2.9.
- Los conos aluviales y pedimentos con pendiente y relieves variables.
- La llanura central que ocupa un cuerpo de agua somero de no más de 1,5 metros de profundidad.

El 57 % de la superficie de la eco región está cubierta por rocas, y le sigue en porcentaje los Aridisoles con 26 % (Maccarini et al., 1995). Los suelos rocosos y pedregosos predominan ampliamente en todos los Complejos, con los mayores porcentajes en la Prepuna y en la Puna Desértica.

En extensión luego de las superficies rocosas, lo que más abunda son los Aridisoles, que son suelos de climas áridos fríos o cálidos, que disponen de agua en su perfil por períodos muy cortos generalmente inferior a los tres meses. Además, cuando disponen de agua su potencial hídrico en el suelo es tan bajo que no se encuentra disponible para la mayoría de las plantas. Dentro de los Aridisoles, predominan los Paleargides, que son suelos antiguos evolucionados sobre geoformas muy estables y se caracterizan por la presencia de horizontes ricos en carbonatos y cementados por calcáreos (horizontes petrocálcico) a menos de 1 m. de la superficie; o bien por un horizonte iluvial (argílico) con más 35 % de arcillas, lo cual es una manifestación de largos períodos de formación. Matteucci, (2012).

Según el Atlas de Suelos (1990) el 42 % del área está ocupado por Paleargides; el 20% por Cambortides; el 30% por Torriortentes, Torrifluventes y Torripsamentes y el resto por Halacueptes y Salorthides en la vega que rodea al Río Miraflores. La superficie de los suelos, por su origen geológico, es poco a moderadamente compactado (Vargas Gil, 1980).



Figura 2.9. Glacis Puna Jujuy. Fuente y elaboración: propia.

De acuerdo al índice de aridez comprende tierras semi-áridas, áridas e hiper árido. Fitogeográficamente, pertenece al dominio andino e incluye a la Provincia Alto andina (por arriba de los 4,300 m.s.n.m.), y a la Provincia Puneña (3,300-4,300 m.s.n.m) propiamente dicha (Cabrera 1957). La mayoría de las descripciones fisiográficas y florísticas de la Puna argentina pertenecen al sector norte de esta región, más húmeda que en el sector sur (Cabrera, 1957; Ruthsatz & Movia, 1975).

Aplicando la clasificación de Dollfus (1981), Tecchi en el año 1991 propone que el ecosistema más bajo en la cuenca de la Laguna de Pozuelos conocido como Suni se halla entre los 3,300 y 3,800 msnm. La fisiografía está dominada por formas llanas, casi planas o suavemente tendidas y onduladas. La actividad preponderantemente es pastoril y actual o potencialmente apta para uso agrícola donde se dispone de agua. Este mismo autor considera que la Puna propiamente dicha se halla entre los 3,800 y 4,500 msnm., de relieve accidentado, cerros y quebradas, y elevadas altiplanicies. Con temperatura medias anuales entre 7 y 4 °C., la estepa arbustiva es la vegetación predominante, con una producción estimada de 30 a 200 kg. MS/ha/año, siendo la actividad principal el pastoreo. Este es el límite para el crecimiento de plantas C4 caracterizadas por mecanismos de gran eficiencia fotosintética, que requieren para su desarrollo alta radiación, Estos componentes de la vegetación son comunes en la región suni (Ruthsatz et al., 1984). Por encima de los 4,500msnm., se halla el ecosistema conocido como Janca, son laderas suaves o escarpadas de montaña y altas mesetas. Existen también cubiertas de escombros producto de los acarrees y cenizas volcánicas. Ocurren nevadas y granizo, vientos intensos, suelos rocosos y pedregosos y/o arenosos, muy pobres en materia orgánica y vegetación muy pobre en forma de cojines y en las vegas ciperáceas y juncáceas. En esta porción del paisaje crece la importancia de las especies geófitas que tienen yemas de renuevo subterráneas. Tecchi, 1991 y Braun Wilke et al., 1991.

En el año 2002 Vorano y Vargas Gil, describen las características de la Puna Salto Jujeña con un estudio detallado para completar la información relevada en la Laguna de Pozuelos por los autores anteriormente citados.

RELIEVE MONTAÑOSO (Janca)

Este ambiente incluye las cadenas montañosas (serranías, cerros y colinas), predominantemente orientadas, siguiendo la disposición meridiana (Nore-Sur). Los gradientes son superiores al 30%. La presencia de pedregales o bloques desprendidos, es la expresión más común, ellos sepultan en capas de espesor variable la roca firme. Por encima de los 4,000 msnm el clima es muy frío. Los suelos son Criortentes líticos someros, no superan un espesor de 50cm mientras que los C típicos superan los 50cm. Los suelos representan el 30% de la superficie y el resto es ocupado por afloramientos rocosos y masa de regolita suelta de distinta granulometría. La vegetación es dispersa con amplios espacios de suelo desnudo. Dominan los arbustos enanos, en cojín o pastos perennes con reservorios en raíces y alta concentración de solutos en su savia que los hace resistentes a los procesos de congelación y descongelación.

Debajo de los 4,000 msnm el clima es similar al anterior, pero con temperaturas atenuadas por la menor altitud. Los suelos son pedregosos Torriortentes líticos o típicos, según si el contacto con los rodados subyacentes se encuentre a menos o más de 50cm de profundidad. La vegetación es una mezcla de estepa arbustiva con pastizal alto andino, abierto, poco denso de matas bajas 20-40cm. Posee entre un 30 y 50% de cobertura y su densidad varía con la exposición de la ladera.

Los suelos subordinados en el relieve montañoso son los Aridisoles desarrollados en pilas de sedimentos finos (Cambortides y Haplargides). Además de Entisoles y Aridisoles, en las porciones apicales se encuentran Inceptisoles (Vitrardeptes). En sectores restringidos se observan manantiales o concentraciones de aguas de escurrimiento, muchas veces provenientes de deshielos, donde se forman vegas con Histosoles.

LLANURA PUNEÑA (Puna y Suni)

Es la forma dominante, conformada por escalones topográficos, el superior al pie de la montaña de antiguas formas estabilizadas, y hacia abajo las formas recientemente estabilizadas. Ambos niveles están disectados por las bajadas que son vías de desagüe que vinculan la esorrentía natural desde las montañas a los bajos. En la parte basal, en el fondo de las depresiones conocidas como bolsones, se encuentran las planicies mal drenadas circundando los cuerpos de agua y/o salares.

Las formas estabilizadas antiguas presentes son piedemontes y conos coalescentes, de acumulación coluvio-aluvial que son grandes volúmenes de sedimentos provenientes de las montañas. Su expresión de estabilidad actual se refleja en la presencia de pavimento de desierto, barnizado por la exposición al sol y el movimiento fuerte y constante de los vientos. Los suelos dominantes son los Paleargides típicos y petrocalcicos., son los suelos rojos de desierto. La presencia de gravilla y piedras es común y tiende a incrementarse en profundidad. La profundidad del horizonte B2t y su abundancia en contenido de arcilla disminuye desde el norte al

sur de la puna. La vegetación es una estepa arbustiva dominada por *Fabiana densa* (tolilla), *Adesmia horridiuscula* (añagua) y *Psila boliviensis* (chijua). Acompañada por *Baccharis incarum* var. *lejía* (lijia), *Acantolippia Hastulata* (rica-rica), *Ephedra breana* (pingo-pingo), *Junellia seriphioides* (rosita), *Tetraglochin cristatum* (canjia). *Senecio viridis*, *Parastrephia lepidophylla* (tola) gramíneas del genero *Stipa* y algunas cactáceas.

Entre las matas aparecen durante el verano las especies perennes dejando el suelo desnudo el resto del año que pueden presentar abundantes pavimentos de erosión.

Las formas de recientes de la transición sub-montañosa son piedemontes y conos que forman el último escalón topográfico en el descenso al fondo del valle o bolsón. Formas intermedias entre la llanura con formas estabilizadas antigua y el fondo del bolsón, de bajo ángulo de pendiente y continuidad horizontal adoptan características de llanura. Medianamente estabilizados y su origen es moderno con suelos juveniles. Los suelos dominantes son Cambortides desarrollados sobre sedimentos aluviales o coluviales de textura fina (franco a franco arenoso). Los Torrifluentes secundan en representatividad a los Cambortides, en lugares expuestos a la dinámica del agua.

Los Torrisamientos manifiestan mayor intensidad de acciones eólicas, un manto de arena que cubre con espesor variable y discontinuo en amplios sectores de estas planicies.

En la Puna húmeda los Cambortides son de textura fina en el bolsón Pozuelos, y franco a franco arenosa en el sector de Miraflores y en la Puna seca de Salta arenosos, se asocian a la vegetación de *Pennisetum chilense* esporal. Pueden formar pastizales puros como cerca del R. Miraflores, en Pozuelos se asocia con vegetación arbustiva. Son los mejores campos de pastoreo de la Puna cuando su extensión y condición es buena.

El ambiente de Bajadas está formado por todo el sistema de avenamiento y desagüe natural: vías de escurrimiento, arroyos y cañadas, bajadas en cauce, derrames, terrazas y llanuras aluviales. Cerca de la montaña se produce encajonamiento o profundización del cauce de arroyos y cañadas y según su magnitud y los ambientes que atraviesen pueden formar terrazas (geoforma). En las laderas de la cuenca, se manifiestan tolares densos y estepas vigorosas.

En suelos muy secos con escasa cobertura *Chuquiriaga atacamensis* y otro sector *B. incarum* var. *lejía*.

Aquí aparecen queñoales *Polylepis tomentella* bosquecillos de 2-5m de altura que se encuentran en las quebradas resguardadas. Forma sociedad con el churqui *Prosopis ferox* que es una leguminosa arbórea espinosa, típica de las quebradas y prepuna que ingresa a la Puna hasta los 3,500msnm. También se asocia a *Trichocereus pasacana* creciendo en las laderas de los cerros bajos.

En la cuenca relativamente baja, el agua se moviliza en forma difusa y se forman derrames con estructuras típicas de corte, relleno y enlames. El curso es cambiante como se observa en la margen derecha del Río Miraflores, entre Pumahuasi y Puesto del Márquez, gran superficie de enlame densamente recortada por finos hilos de agua.



Figura 2.10. Bajada. Ex. Ruta 40. Puna Jujuy. Fuente y elaboración: propia.

En la parte basal de algunas vías de desagüe se forman llanuras aluviales activas. Los ríos mayores se estructuran terrazas en escalón como en Yavi.

Estos tramos de las bajadas dominan suelos aluvionales Torrifluventes y otros pedregosos Torriortentes y en lugares restringidos Cambortides fluventicos. La vegetación es de tolares macizos y stipas vigorosas. En el curso inferior cuando las bajadas cortan la llanura estabilizada reciente, abundan cortaderas, tolares y esporales solo en los márgenes de la bajada, en la llanura activa abundan montículos y bancos arenosos. **Figura 2.10.**

Las Llanuras aluvionales son amplias llanuras plano cóncavas inundables de fondo de bolsón, adyacentes a los ríos y arroyos puneños y que también circundan a lagunas y salares. Al norte de la Puna algo más húmeda se encuentran lagunas y al sur donde el clima es más seco salares.

Los suelos más frecuentes son los aluvionales salinos Torrifluventes sálicos, de textura arenosa a franco limosa con ripio escaso. Los suelos que son someros por presencia de capa freática próxima a la superficie: Fluvacuentes, arcillosos sódicos, Natracualfes y Salortides que son salinos con más del 10% de sales solubles. También se encuentran algunos suelos orgánicos turbosos.



Figura 2.11. Humedal con síntomas de salinización y erosión hídrica. Puna Jujuy. Fuente y elaboración: propia.

La vegetación dominante es de *Festuca scirpifolia* conocida como chillagua o chillahua. También se encuentran especies higrófilas como *Juncus balticus*, *Hypochaeris meyeniana*, *Tentiana postrata* y *Baccharis caespitosa*.

En los suelos más salinos *Distichlis humilis*, junto con la *Salicornia pulvinata*, *Scirpus nevadensis*, *Festuca hysophila*. Como curiosidad los cojines de yaretila. Figura 2.11.

2.4. Cubierta vegetal

Las comunidades vegetales zonales, cuya localización está determinada por el clima regional, son la estepa arbustiva, ubicada entre las vertientes que llegan al piso de la depresión y los 4,600 msnm., y la estepa graminosa con distinta frecuencia en la presencia de arbustos, que se halla por encima de los 4,300 m. Las comunidades que se desarrollan favorecidas por condiciones ambientales particulares, pedológicas o microclimáticas o hidrológicas, cubren extensiones importantes para la ganadería. Se trata de las vegas o ciénagos con césped denso y pequeños arbustos y algunas gramíneas de mayor porte en sitios con suelos saturados con agua todo el año. En otras condiciones de sedimentos arenosos se desarrolla la vegetación de médanos. Los tolares en zonas cercanas a los cauces temporarios donde pueden desarrollar su capacidad freatófita. Entre los 3,800 y 4,500m en las vertientes orientadas preferentemente al norte y al este, se halla *Polylepis tomentella*. La región de estudio abarca parte de la Puna subhúmeda y de la Puna seca.

Puna Semi-húmeda

Es un pastizal seco con presencia de arbustos bajos y algunos árboles. Se extiende 161,400 km² desde el sudoeste peruano hasta el noroeste argentino, con su mayor superficie en el altiplano boliviano. Se ubica entre los 3,200 a los 6,600 m.s.n.m, con un límite entre la variante alto andina a los 4,500 m.s.n.m. Las precipitaciones van de 250 a los 500 mm con una fuerte relación orográfica y las temperaturas medias pueden variar entre los 0 y 11 °C dependiendo de la latitud y la altitud (UNESCO 1981), (Cabrera, et. al. 1971).

Aquí observamos la presencia de lagunas y una vegetación más o menos continua sobre el suelo, si no se practicó un pastoreo excesivo. Las cadenas montañosas recorren la región con de dirección meridiana, se elevan a ambos lados del piso de esta planicie, manteniendo el efecto orográfico formador de nubes. Ello también ocasiona una distribución irregular de los escasos montos de precipitación. Sin embargo, lo bajos valores de evapotranspiración potencial, a consecuencia de las relativamente bajas temperaturas debidas a la altura, le permite mantener dos meses sin déficit de agua en el suelo durante el verano. Al aplicar la fórmula climática de Thornthwaite permite calificar esta zona como semiárida. En la Argentina Cabrera la

denominó “Puna seca o espinosa”. El clima es semiárido, mesotermal (Thorntwaite, 1948) con una larga época invernal seca y fría y una estival corta, lluviosa y templada.

Los bofedales son humedales típicos de la región con una formación de anillos de vegetación característicos de arbustos altos periféricos (*Parastrephia* sp), pajonales (*Festuca* sp y *Stipa* sp), gramíneas y dicotiledóneas rastreras y vegetación acuática. También son característicos pequeños bosques dispersos de queñoa (*Polylepis* sp.). Género exclusivo de Sudamérica que en las alturas de la Puna presenta dos especies endémicas *P. tarapacana* y *P. tomentella* que crecen hasta los 5,200 m.s.n.m. Esta especie ha sido sobre-explotada desde la época de la colonia, para leña y la construcción, estando hoy severamente amenazada. Otra especie característica sobre-explotada para el uso de su leña ha sido la Yareta (*Azorella yarita*) (Ergueta and Gómez 1997). La puya (*Puya raimondí*) es la bromeliácea que crece a mayor altitud, y si bien su distribución natural es limitada, se encuentra en peligro de extinción por su sobreexplotación para leña y construcción.

Puna Seca

Esta es una estepa de arbustos xerófitos. Ocupa 307,400 km² desde el suroeste boliviano al noroeste argentino y noreste chileno. Esta entre los 3,500 y los 5,000 m.s.n.m. hasta las altas cumbres cordilleranas. Presenta una variante alto-andina sobre los 4,500 m.s.n.m donde dominan pastizales dispersos y suelo desnudo. Se diferencia de las otras subregiones de Puna por las escasas precipitaciones, menores a 300 mm, y por una gran estacionalidad del régimen. En los sectores hiper áridos las precipitaciones son menores a los 50 mm y es frecuente la ausencia total de precipitaciones en años secos. (Ribera Arismendi, 1992). Al menos durante 8 meses no se registran lluvias. Cabrera la denomina “Punadesértica”, es la Puna de los salares, que ocupa los fondos de los valles y bolsones y también recibe el nombre de “desierto de escombros”.

La vegetación tiene múltiples adaptaciones fisiológicas y morfológicas para tolerar los grandes períodos de sequía. Dominan los géneros arbustivos *Adesmia*, *Baccharis*, *Fabiana*, *Senecio*. *Acantholippia hastulata* y *Tetraglochin cristatum* (UNESCO 1981). Las vegetaciones de los humedales presentes están asociadas a salares o lagunas salobres, donde los anillos de gramíneas y arbustos se distribuyen de manera concéntrica de acuerdo a su halofitismo. Las principales especies son *Anthobryum* sp., *Atriplex atacamensis*, *Distichlis humilis*, *Muhlenbergia fastigiata*, *Parastrephia lucida* y principalmente *Festuca orthophylla*. Borgia, y otros, (2006).

La cobertura vegetal es muy variable y depende de factores climáticos y del relieve, del cual depende la acumulación y permanencia del agua en el suelo. Los manchones de alta cobertura son casi exclusivamente las colchas, formadas por un césped de *Distichlis* sp (pasto salado o pelo de chanco) que crece en las vegas y que avanza sobre el suelo descubierto a medida que se retira el agua, los manchones de bosque abierto en valles protegidos y los pajonales. Los bosques de *Polylepis tormentella* (queñoales) se encuentran en las vertientes más húmedas, entre los 3,500 y 4,000 m; han sido muy explotados para la obtención de leña y madera y se encuentran muy reducidos en superficie.

Las restantes comunidades tienen coberturas de suelo inferiores al 10 % y la erosión hídrica y la eólica conforman, en la actualidad, el proceso creador y

modificador de geoformas más importante. Se encuentran pastizales de pastos fasciculados en las zonas menos secas y los arbustales y tolillares dominan en las más secas. Hay decenas de endemismos genéricos de plantas superiores. Matteucci, 2002.

En síntesis, las comunidades vegetales zonales, cuya localización está determinada por el clima regional, son la estepa arbustiva, ubicada entre las vertientes que llegan al piso de la depresión y los 4,600 msnm. Y la estepa gramínea con distinta frecuencia en la presencia de arbustos, que se halla por encima de los 4,300 m. Las comunidades que se desarrollan favorecidas por condiciones ambientales particulares, pedológicas o microclimáticas o hidrológicas, con elevada C.V. Se trata de las vegas o ciénagos con césped denso y pequeños arbustos y algunas gramíneas de mayor porte en sitios con suelos saturados con agua todo el año. En otras condiciones se desarrolla la vegetación de médanos. Los tolillares en zonas cercanas a los cauces temporarios donde pueden desarrollar su capacidad freatófitas. En las vertientes entre los 3,800 y 4,500m.s.n.m. se halla *Polylepis tomentella*.

Cobertura del suelo

no se entiende

Si las características edafo-climáticas restringen el desarrollo vegetal, y por ende la cobertura del suelo la vegetación natural baja (alrededor de 40 %). No obstante, esa protección es fundamental en el frágil equilibrio ante los agentes erosivos del suelo, y de ella depende en gran medida la producción ganadera regional (Ruthsatz, B., Movia C., 1975)

La cobertura vegetal de los suelos es un componente variable que expresa con rapidez los diferentes montos de lluvia e intensidades de uso. Su reducción desencadena procesos erosivos. En las tierras áridas e hiper-áridas, la cobertura vegetal refleja la relación del hombre con el medioambiente a través de los usos que este le da. A través de su ganado, el hombre modifica la composición específica, condiciona la genética poblacional y determina la distribución de las comunidades vegetales. La disminución de cobertura vegetal es reversible con el tiempo, pero la erosión producida a causa de esta disminución puede ser inmediata, gradual o irreversible. (Braun Wilke, 2002), (Vorano, A., 2002)

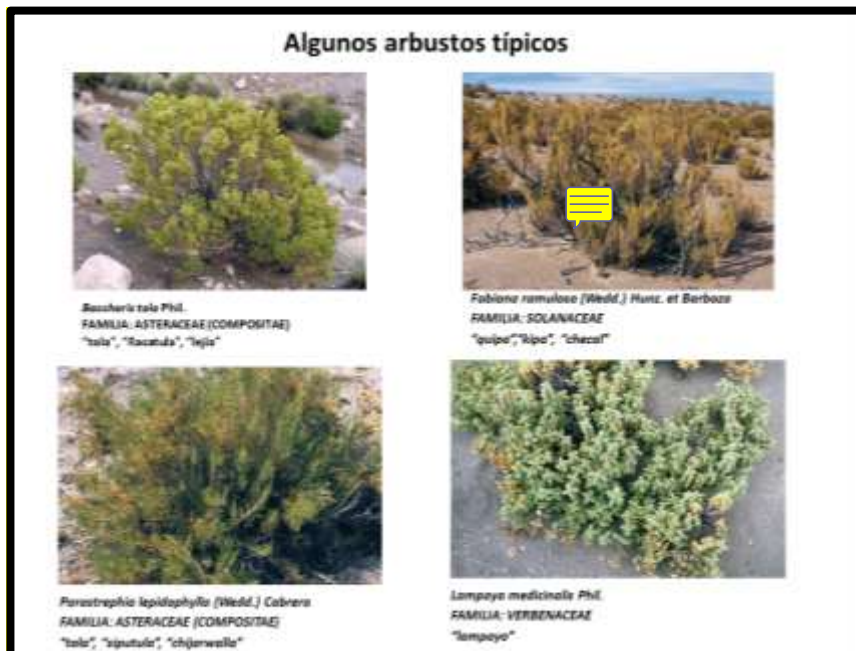
En la matriz de vegetación esteparia Puneña, los arbustos son dominantes. El ciclo de vida de las principales especies es tan prolongado como el de los de árboles. En menor proporción, las gramíneas perennes (*Pennisetum* sp, *Festuca* sp, *Stipa* sp) contribuyen relativamente a la cobertura del suelo en los sectores más húmedos de la estepa. Además de los arbustos y las gramíneas perennes, existe un pool de formas de vida oportunistas (herbáceas anuales) que responden a pulsos de recursos estacionales activados por las precipitaciones estivales (microgramíneas y pequeñas latifoliadas). La recuperación de los arbustales es posible pero lenta, encontrado fuertes condicionantes ambientales en la implantación y en sus bajas tasas de crecimiento. Las hierbas anuales ante condiciones favorables (lluvias y temperaturas de verano) aumentan notablemente su participación en la cobertura. Estas hierbas alcanzan un alto porcentaje de cobertura (70-90 %) pero sus ciclos se limitan a la estación lluviosa, dejando el suelo descubierto la mayor parte del año (Ruthsatz, B, 1974). El control del sobrepastoreo de esas hierbas y sus restos senescentes podría ser una práctica de control de erosión.

Si bien el NDVI no mide directamente cobertura, no existe ninguna aproximación metodológica que permita una estimación de las variaciones relativas en el tiempo y espacio con mayor precisión, menor sesgo, mejor cobertura espacio-temporal y repetitividad (Oyarzabal et al., 2014).

Numerosos trabajos demuestran la relación existente entre el NDVI y las precipitaciones (García García, 2004; Paruelo et al., 2005; De la Casa y Ovando, 2006; Propastin et al. 2010; Maggi et al., 2012).

Algunas de las especies de plantas representativas de la Puna de Jujuy se muestran las principales especies vegetales en las Figuras 2.12 y 2.13:

Por que aca el NDVI??



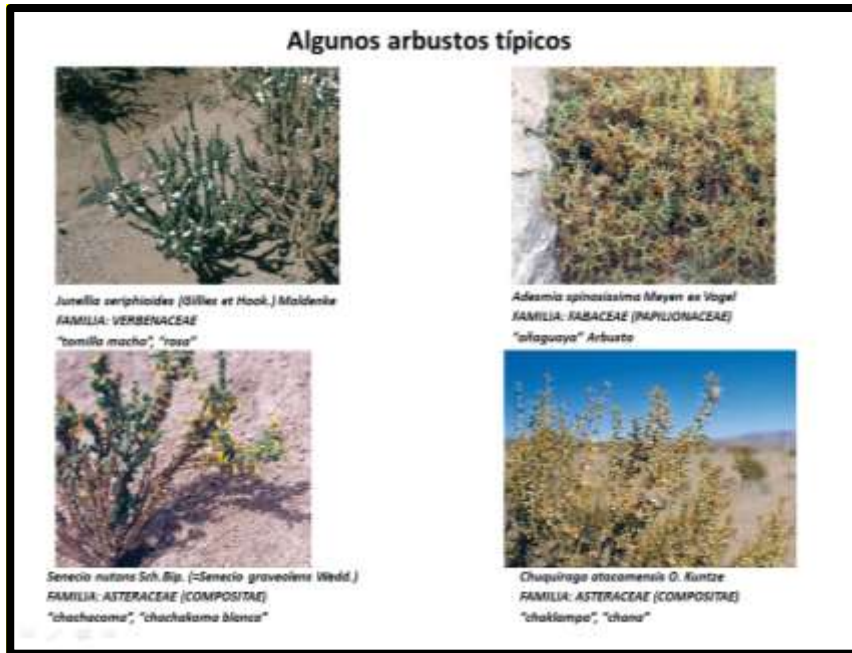
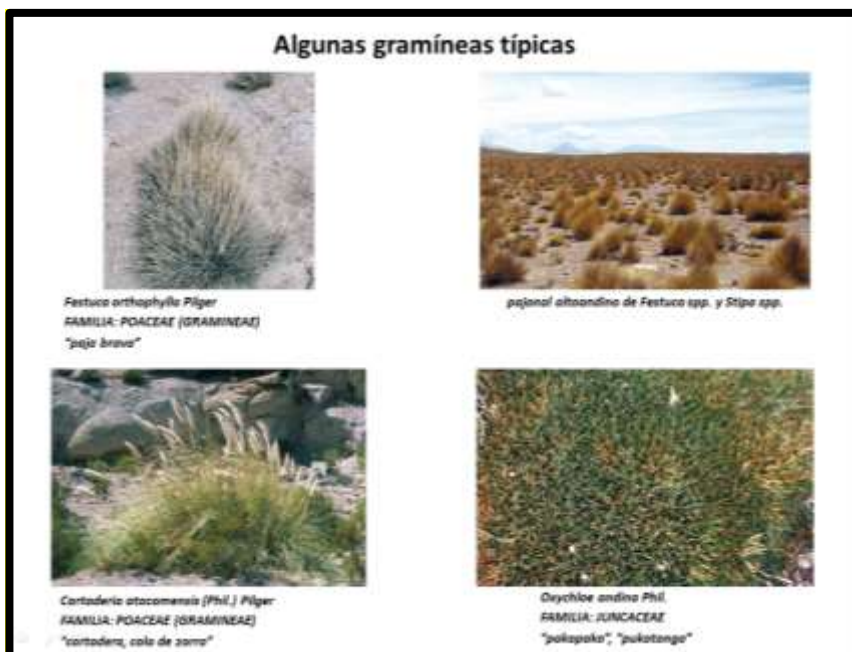


Figura 2.12. Arbustos típicos de la Puna en Jujuy. Elaboración propia.

Las condiciones climáticas no siempre siguen un patrón determinado, y pueden ser afectadas por muchas variables. Un fenómeno que afecta al régimen de precipitaciones en el Noroeste Argentino es el llamado ENOS (El Niño-Oscilación del Sur), que claramente condiciona la cobertura vegetal.



No se entiende bien por que pones esto aca..tal vez es la redacción...entiendo que estas describiendo en este caso la cubierta vegetal a nivel regional y que en estos dos ultimos parrafos (uno sobre el ndvi y este del enos) es para identificar los cambios de la cobertura vegetal a nivel regional por el clima??? (...porque en el apartado anterior decis que la vegetacion se relaciona con el relieve y el suelo...) puede ser así???

Tal vez tendrías que ir por ahí y agregar que son dos formas de comprobar esta variabilidad de la vegetacion

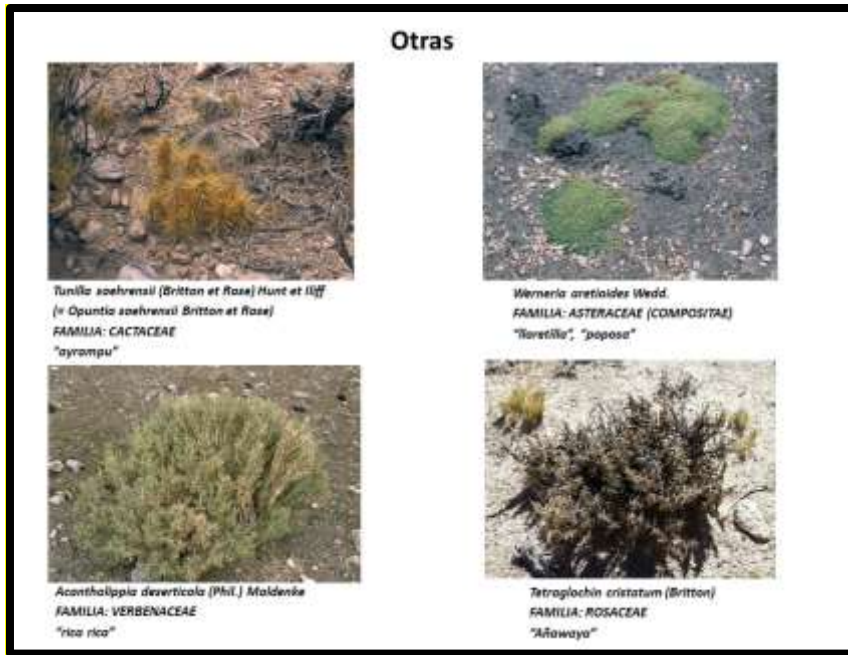


Figura 2.13. Gramíneas y otras plantas típicas e indicadores de la Puna en Jujuy. Redacción propia.

Ante esta coyuntura, donde se suma la intensificación del fenómeno ENOS y el sobrepastoreo, es necesario conocer la dinámica anual e interanual de la flora para poder llegar a elaborar distintos manejos que hagan a la sustentabilidad del sistema socioeconómico-ambiental de la zona. Algunos estudios que consideran esta problemática han sido abordados en la Puna jujeña por Maggi et. al. y Maggi y Di Ferdinando, en los años 2010 y 2012, respectivamente.

Capítulo 3

Capítulo 3. Determinación de la posible existencia de saltos climáticos en la precipitación en la región NOA cercanos o coincidentes en tiempo con la Transición climática del Pacífico.

3.1. Introducción

Se ha comprobado científicamente que en el término de un año -1976/1977- ocurrió una transición climática brusca en el sistema acoplado atmósfera-océano (TCP), que conecta la temperatura de la superficie del Océano Pacífico con parámetros climáticos en muchas regiones del planeta (Namias 1978; Ebbesmeyer et al., 1991; Miller et al., 1994; Solomon et al., 2007; Meehl et al., 2013). Estos cambios de régimen podrían deberse a cambios en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical (Huang et al., 2005), que estarían acompañando a la llamada Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) (Garreaud y Aceituno, 2001; Newman et al., 2016). Además, se demostró la presencia de un salto climático en enero de 1974,

evidenciado por una disminución abrupta en el gradiente meridional de presión que coincide con un aumento en la precipitación en el sur de Sudamérica (Vargas et al. 1995). Agosta y Compagnucci (2008) probaron el efecto de la TCP sobre las precipitaciones en la región centro-oeste de Argentina, al sur de La Puna. En este capítulo se prueba la presencia de la TCP en la región NOA y especialmente en la Puna de Jujuy.

3.2. Área de estudio en el marco de la región NOA y datos pluviométricos utilizados.

En el presente capítulo se pretende detectar, mediante los registros pluviométricos de seis localidades de la región NOA, la posible existencia de saltos climáticos cercanos o coincidentes en tiempo con la Transición Climática del Pacífico (TCP), así como estudiar la permanencia de los posibles cambios, a fin de coadyuvar al conocimiento de una coherencia climática regional que incluya a la Puna.

Solo hay dos localidades de la Puna Jujeña existen largas series pluviométricas disponibles: Abra Pampa y La Quiaca. A fin de comparar los estudios a efectuar en estas localidades con otras de la región NOA, se hizo un análisis previo en cuatro localidades más de esta región, las cuales rodean a la Puna por el sudeste y sur. De este modo podremos visualizar condiciones regionales en el NOA, en particular en la respuesta de la precipitación a la transición climática del Pacífico 1976/77 y también al fenómeno ENOS; esto último se analiza en el capítulo 3.

En Abra Pampa existen dos series de datos pluviométricos: en la estación de ferrocarril (desde 1935 a 1990) y en la estación experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). En esta última, que comenzó a funcionar en 1959, la serie tiene interrupciones en los primeros años por falta de registros, por eso se utilizaron a partir del año 1970, y se promediaron los datos de ambas estaciones del FFCC y la EEA INTA Abra Pampa que fué el lapso en que coexistieron, desde ese año hasta 1990.

Se obtuvieron las series de datos de precipitación mensual de los años 1935 a 2016 de las seis estaciones meteorológicas que se indican en la Tabla 3.1: Abra Pampa del INTA y los cinco restantes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Se muestra la ubicación de las mismas en la Figura 3.1.

La región de El NOA está caracterizada por una topografía compleja y heterogénea; la gran variación altitudinal causa una distribución espacial irregular de la precipitación y otras variables climáticas, lo cual se refleja en la diversidad de la vegetación. La precipitación, concentrada en el semestre cálido, aumenta en líneas generales desde el extremo oeste-noroeste hacia el este-sudeste debido a su orografía, con máximos en los valles templados de Jujuy y Salta; al oeste de estos valles la región es árida y semiárida (Minetti, 2005).

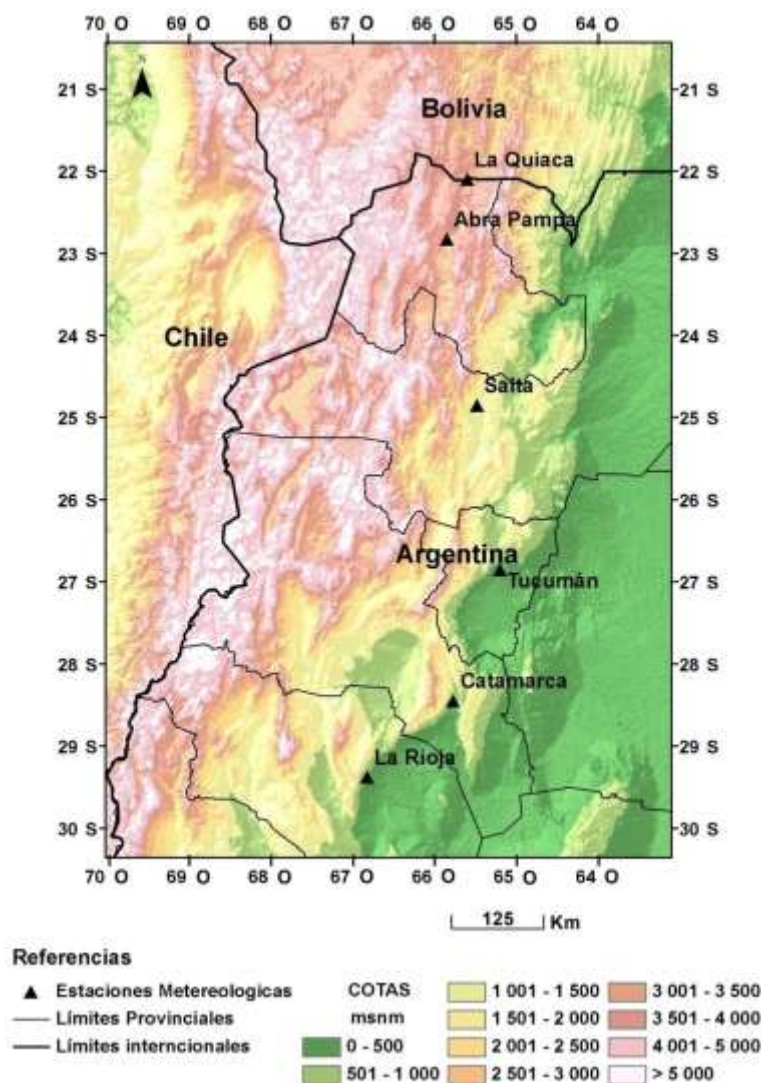


Figura 3.1. Área de estudio, que incluye parte de la Región NOA y el sur del Altiplano Boliviano. Se muestra el relieve con intervalos de clase de altitud y la ubicación de las seis localidades con datos meteorológicos usados. Fuente: Barrera y Maggi, 2018.

Tabla 3.1. Lista de estaciones meteorológica en las localidades seleccionadas. Nombre, coordenadas geográficas, altura SNM, institución a la que pertenece y período de datos analizado.

Localidad	Latitud S.	Longitud O.	H SNM	Institución	Período
La Quiaca	22,10	65,60	3,459	SMN	1935-2016
Abra Pampa	22,83	65,85	3,484	FFCC-INTA	1935-2016
Salta	24,85	65,48	1,221	SMN	1935-2016
Tucumán	26,85	65,20	450	SMN	1935-2016
Catamarca	28,45	65,77	531	SMN	1935-2016
La Rioja	29,38	66,82	429	SMN	1935-2016

Fuente: Barrera y Maggi (2018).

Cabe mencionar que la estación experimental de Abra Pampa está situada en la zona central de la Puna Jujeña (Puna seca) y posee un registro prolongado de datos pluviométricos. Sin embargo, por no estar incluida en la mayor parte de las bases globales o regionales de datos pluviométricos a pesar de ser irremplazable por su ubicación y representatividad, no fue incluida en los estudios climáticos antecedentes de los autores citados en el capítulo 1.

3.3. Construcción de las series temporales de precipitación acumulada para la detección de saltos climáticos.

A fin de detectar la posible existencia de saltos climáticos en la precipitación en la región NOA cercanos o coincidentes en tiempo con la TCP, se construyeron, para las seis localidades mencionadas, las respectivas series de valores acumulados en el período Octubre a Abril (en adelante O-A) que denominamos período monzónico, y en el cual está concentrada la precipitación. Se usaron para ello las series disponibles de datos de precipitación mensual. Se adopta el formato 1935/36 para referir el período octubre de 1935 a abril de 1936, y así sucesivamente. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Precipitación acumulada en el período Octubre-Abril en las estaciones estudiadas.

Período O-A	La Quiaca	Abra Pampa	Salta	Tucumán	Catamarca	La Rioja
1935-1936	228	126	635	456	287	154
1936-1937	264	162	581	703	254	294
1937-1938	250	151	687	763	313	131
1938-1939	240	135	621	807	347	286
1939-1940	237	148	435	949	350	392
1940-1941	254	200	386	732	401	527
1941-1942	267	296	576	766	361	282
1942-1943	327	229	822	894	313	270
1943-1944	348	433	671	885	400	297
1944-1945	393	369	759	828	375	389
1945-1946	319	283	554	1035	308	369
1946-1947	359	356	762	545	264	191
1947-1948	423	162	505	686	315	355
1948-1949	477	392	642	701	262	319
1949-1950	531	350	847	745	176	255
1950-1951	304	269	512	745	373	256
1951-1952	257	163	734	721	225	345
1952-1953	240	246	657	892	396	419
1953-1954	431	375	682	830	438	351
1954-1955	464	276	593	806	277	279
1955-1956	194	201	608	704	229	152
1956-1957	392	173	664	1085	514	295
1957-1958	272	182	509	1346	334	267

1958-1959	250	321	676	1094	437	374
1959-1960	370	218	821	1025	339	247
1960-1961	248	133	562	1387	430	483
1961-1962	260	242	636	734	246	233
1962-1963	451	331	803	942	261	335
1963-1964	285	202	798	883	415	396
1964-1965	293	211	703	561	358	274
1965-1966	246	109	536	1104	348	272
1966-1967	272	163	420	689	359	162
1967-1968	447	316	602	1338	479	428
1968-1969	276	107	918	1100	237	175
1969-1970	324	169	672	733	378	238
1970-1971	274	380	584	951	249	252
1971-1972	376	372	666	612	280	166
1972-1973	311	322	819	984	410	261
1973-1974	250	418	769	944	475	591
1974-1975	264	270	535	840	467	266
1975-1976	189	302	705	1082	481	299
1976-1977	298	278	568	1139	482	340
1977-1978	484	360	922	1181	560	413
1978-1979	464	393	716	1247	578	489
1979-1980	360	238	812	931	516	403
1980-1981	337	260	923	1365	502	452
1981-1982	339	323	670	983	351	326
1982-1983	233	127	636	1098	512	303
1983-1984	390	642	896	1384	572	485
1984-1985	428	314	883	937	439	370
1985-1986	395	533	856	912	328	521
1986-1987	304	350	778	825	395	296
1987-1988	474	377	843	1292	461	391
1988-1989	376	399	720	497	300	227
1989-1990	308	317	888	904	286	491
1990-1991	612	425	726	1081	416	507
1991-1992	311	219	530	1012	633	618
1992-1993	264	285	661	967	392	440
1993-1994	309	308	600	1111	242	181
1994-1995	376	329	830	802	248	358
1995-1996	305	319	464	688	253	241
1996-1997	420	454	706	1249	319	406
1997-1998	243	110	404	962	297	333
1998-1999	329	357	902	1099	432	338
1999-2000	325	256	722	1323	603	610
2000-2001	392	359	969	1186	409	473
2001-2002	296	319	641	945	438	299
2002-2003	374	282	649	993	345	573
2003-2004	350	343	608	703	250	180

2004-2005	217	300	481	991	307	306
2005-2006	299	294	600	957	217	303
2006-2007	362	293	789	1241	231	217
2007-2008	439	328	1013	1088	482	517
2008-2009	453	456	629	781	324	318
2009-2010	332	322	742	954	215	416
2010-2011	241	406	854	1000	373	452
2011-2012	343	339	850	678	282	288
2012-2013	474	375	705	709	291	137
2013-2014	286	266	703	709	495	336
2014-2015	304	417	749	916	533	458
2015-2016	150	85	889	1017	426	597

Fuente: FFCC, EEA INTA AP, SMN y elaboración: propia.

3.4. Análisis exploratorio de saltos climáticos y de la permanencia de los cambios en la precipitación.

3.4.1. Detección estadística de saltos climáticos.

Con el fin de identificar la existencia de saltos climáticos en las seis estaciones mencionadas se utilizó el test de Yamamoto (Yamamoto y otros, 1987) aplicado a la serie temporal de precipitación O-A. Dicho test está basado en el tratamiento estadístico de una serie de tiempo de promedios móviles de 41 valores o casos -20 consecutivos antes y después de cada caso analizado-. Se define el índice Y de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{M_b - M_a}{C_{pb} + C_{pa}} \quad (1)$$

donde los subíndices a y b indican las sub-series antes y después del caso (período O-A) analizado.

M_b y M_a : Promedios de cada sub-serie (compuesta en nuestro análisis por 20 períodos O-A)

$$C_p = \frac{S_x \cdot t_q}{\sqrt{(N-1)}} \quad (2)$$

donde

C_p : límite de confianza de las medias muestrales, de probabilidad p%

s_x = desvío estándar de la muestra considerada

t_q = valor de la distribución "t-Student" con la probabilidad q% = (100-p%)

N = tamaño de la muestra considerada (igual a 20)

Se usó la distribución "t-Student" de dos colas con el valor crítico al nivel usual $\alpha=0,05$ con $N-1=19$ grados de libertad. Por lo tanto, $t_q=1,73$, $q\%=10$ y la probabilidad para calcular los límites de confianza es del 90%. Según Yamamoto y otros (1987) si

el valor absoluto de Y supera la unidad en un caso dado es razonable concluir que en ese punto de la serie temporal las sub-muestras M_a y M_b pertenecen a poblaciones estadísticas distintas y por lo tanto la serie total es inhomogénea (con probabilidad asociada p). El valor de Y superior a uno más alto indica el año del salto climático.

Se utilizaron las series pluviométricas disponibles en las seis localidades mencionadas.

3.4.2. Determinación estadística de la significancia de los cambios en las series de precipitación.

Una vez detectado un salto climático con el máximo valor del índice de Yamamoto, es pertinente efectuar el análisis de la varianza y un test de significancia a fin de comparar las series de datos antes y después de dicho salto. Para ello, hemos propuesto dividir la serie original en dos. Llamamos Bloque 1 a la que finaliza el período O-A anterior al salto, y Bloque 2 a la serie que comienza con el período O-A correspondiente al salto.

Se efectuó, para las series en las que se detecta un salto climático, el test estadístico de Tukey (Tukey, 1949), conocido y aceptado en la literatura. La prueba que utiliza el método de Tukey se basa en el test de Student de rango y parte de la hipótesis nula de que las dos muestras analizadas (bloques 1 y 2) pertenecen a la misma población estadística. Se rechaza la hipótesis nula si el estadístico de contraste, que es la diferencia de las medias muestrales normalizada por la varianza, supera el valor crítico de la distribución t de Student al nivel α . Se usó el valor usual $\alpha=0,05$. Se obtuvieron, para cada una de las sub-series de precipitación O-A, la media, el coeficiente de variación (en adelante CV), el máximo, el mínimo y la razón entre las medias de los Bloques 2 y 1.

3.4.3. Estudio de tendencias recientes de la precipitación en la región NOA.

Se debe establecer si los cambios que se detecten en la precipitación son permanentes y representan un cambio climático o son fluctuaciones interdecadales y se podría esperar un retorno a condiciones anteriores. Para ello es pertinente comparar los valores medios de precipitación en las seis localidades seleccionadas, al dividir el período 1976/77 – 2015/16 (a partir de la TCP) en dos sub-períodos de 20 años cada uno: 1976/77 – 1995/96 y 1996/97 – 2015/16. De esta forma se actualiza lo informado por Minetti y otros (2003) para la región NOA, quienes con series de precipitación del período 1931/32 – 1998/99 hallaron tendencias decrecientes recientes en La Quiaca y Catamarca y tendencias crecientes permanentes en las localidades de Salta, Tucumán y La Rioja.

También se efectúa la comparación con las medias respectivas de la sub-serie 1935/36 – 1975/76.

3.5. Resultados.

Saltos climáticos de la precipitación, significancia y permanencia de los cambios hallados.

3.5.1. Detección de saltos climáticos en la región NOA.

Se analizaron las series del índice de Yamamoto sobre el período 1960/1961 a 1990/1991 para las seis localidades estudiadas. Los resultados se muestran en las Figuras 3.2. y 3.3.

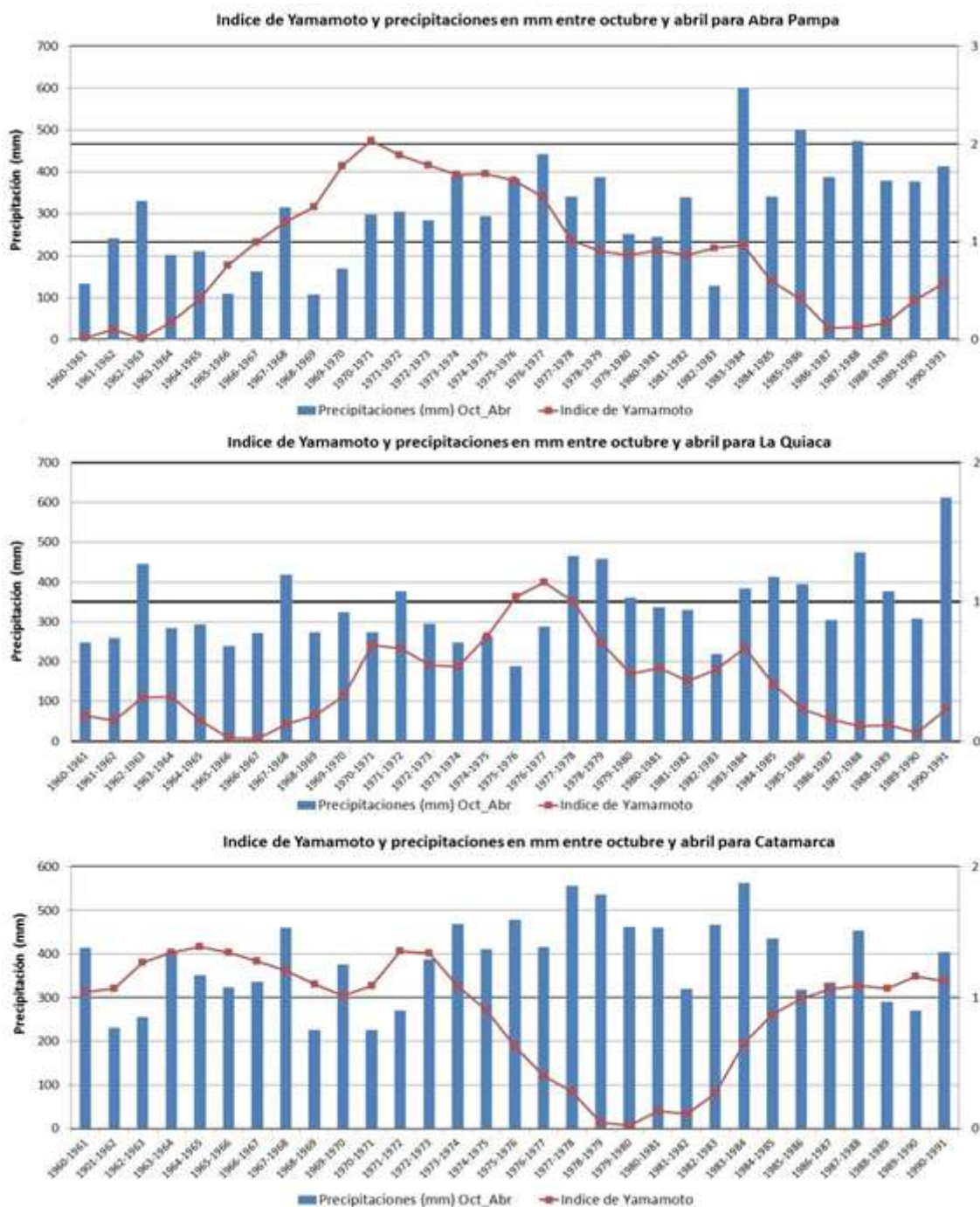


Figura 3.2. Series de precipitación acumulada en el período O-A y marchas interanuales del índice de Yamamoto para las localidades Abra Pampa, La Quiaca y Catamarca. Fuente: Barrera y Maggi (2018).

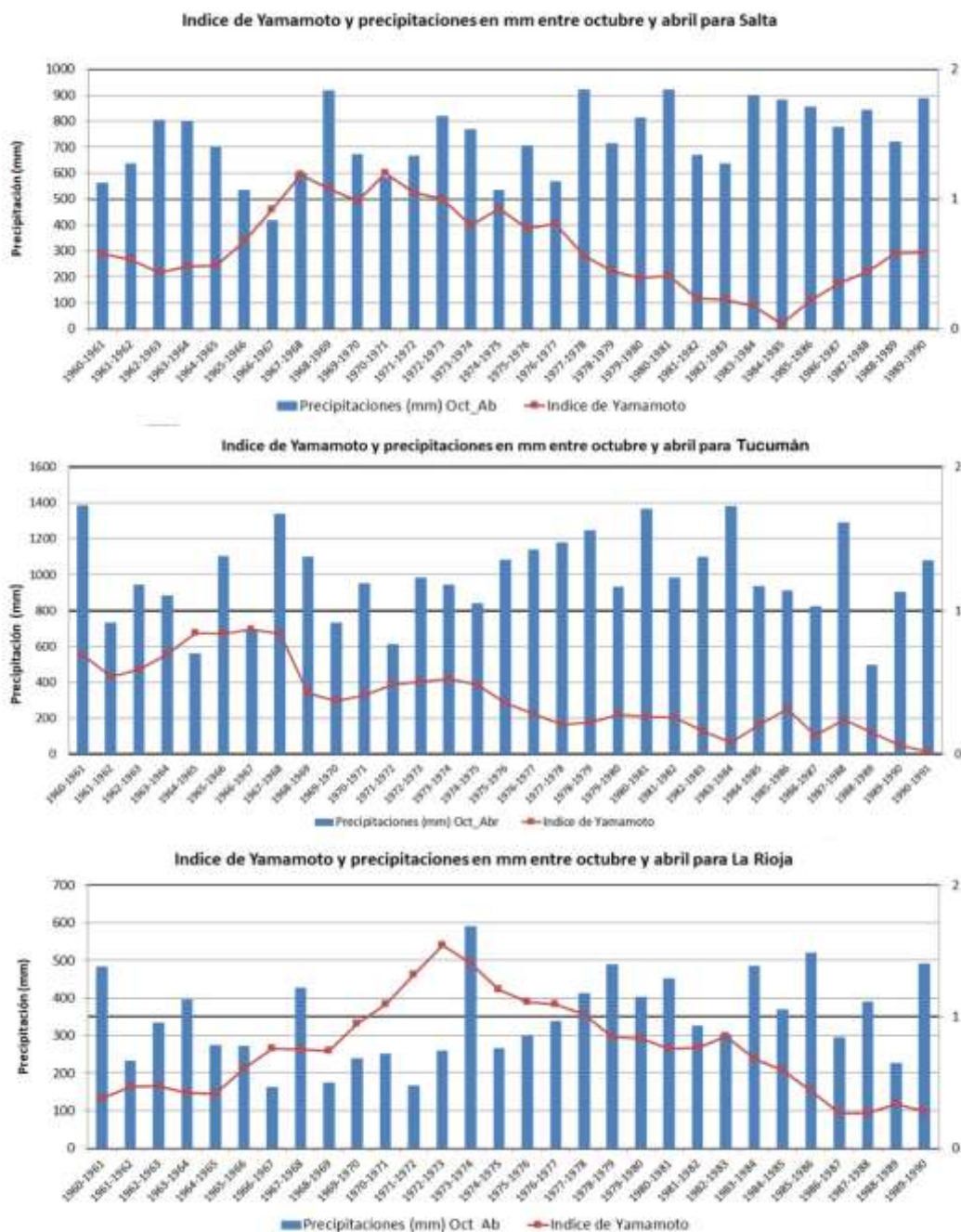


Figura 3.3. Series de precipitación acumulada en el período O-A y marchas interanuales del índice de Yamamoto para las localidades Salta, Tucumán y La Rioja. Fuente: Barrera y Maggi (2018).

El índice de Yamamoto mostró valores mayores que la unidad en cinco de las seis estaciones en la década del 70', con máximos en 1970/71 en Salta, 1970/71 en Abra Pampa (1971/72 si consideramos solo la serie de datos de la Estación de

Ferrocarril), 1971/72 en Catamarca, 1972/73 en La Rioja, y 1976/77 en La Quiaca. Concluimos que hubo sendos saltos climáticos en estas cinco localidades.

Los saltos encontrados están en armonía con la transición climática del Pacífico de 1976/77. El adelanto observado en el salto en estas localidades con respecto a la TCP también se observó en tres localidades del centro-oeste de Argentina (Russian et al., 2015); estos autores hallaron saltos climáticos en la precipitación a comienzo de la década de 1970 en las localidades de General Pico, Victorica y Qehué (provincia de La Pampa). Dicho adelantamiento podría estar asociado con el comienzo de la fase de ascenso de la PDO en el año 1971 -aunque siguió en su fase fría hasta 1976-(Jacques-Coper y Garreaud, 2015).

En la serie de Tucumán no se observa salto climático según el criterio de Yamamoto en el período analizado. Sin embargo, Minetti y Vargas (1997) informaron un salto en 1956 que está en armonía con lo ocurrido en la región húmeda más al este. En consecuencia, podemos concluir que los saltos climáticos en el NOA en la década de 1970 quedaron restringidos a la región semiárida.

3.5.2. Significancia estadística de los cambios hallados a partir de los saltos climáticos.

Para las cinco localidades estudiadas de la región NOA que acusan saltos climáticos en el período analizado, se dividió la serie de datos 1935/36 – 2015/16 en dos sub-series que denominamos Bloques 1 y 2 (antes y a partir del salto climático correspondiente). Se obtuvieron los siguientes descriptores estadísticos de la precipitación acumulada O-A: media, Coef.Variación, valores mínimo y máximo y la razón de la media del Bloque 2 con respecto al Bloque 1 (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Descriptores estadísticos y Test de Tukey (con distribución t de Student al nivel $\alpha=0,05$) de la precipitación (mm) en el período O-A en las seis localidades estudiadas. Series divididas en Bloque 1 -antes del salto climático correspondiente- y Bloque 2 -a partir de este-. A y B representan poblaciones estadísticas diferentes (diferencias significativas según el test de Tukey). Se repite el análisis para La Quiaca en el período 1911/12 – 1975/76. La columna derecha muestra la razón entre las medias de los Bloques 2 y 1.

Te quedo diferente que el resto...y separalo del texto explicativo de la figura.

La Quiaca

Bloque	Período	N	Media	C.V.	Mín.	Máx.	Diferencias Significativas	B2/B1
1	1911/12 – 1975/76	65	307	26	175	522	A	1,12
2	1976/77 – 2015/16	40	344	26	149	612	B	

Bloque	Período	N	Media	C.V.	Mín.	Máx.	Diferencias Significativas	B2/B1
1	1935/36 – 1975/76	41	308	27	182	522	A	1,12
2	1976/77 – 2015/16	40	344	26	149	612	A	

Abra Pampa

Bloque	Período	N	Media	C.V.	Mín.	Máx.	Diferencias Significativas	B2/B1
1	1935/36 – 1969/70	35	234	39	107	433	A	1,43
2	1970/71 – 2015/16	46	335	28	85	600	B	

Salta

Bloque	Período	N	Media	C.V.	Mín.	Máx.	Diferencias Significativas	B2/B1
1	1935/36 – 1969/70	35	644	19	386	918	A	1,14
2	1970/71 – 2015/16	46	734	19	404	1013	B	

Catamarca

Bloque	Período	N	Media	C.V.	Mín.	Máx.	Diferencias Significativas	B2/B1
1	1935/36 – 1970/71	36	335	23	176	514	A	1,18
2	1971/72 – 2015/16	45	395	30	215	633	B	

La Rioja

Bloque	Período	N	Media	C.V.	Mín.	Máx.	Diferencias Significativas	B2/B1
1	1935/36 – 1971/72	37	295	32	131	527	A	1,30
2	1972/73 – 2015/16	44	382	34	137	618	B	

Fuente: Barrera y Maggi (2018).

Asimismo, se efectuaron sendos test de Tukey. En Abra Pampa (en la Puna semiárida) y en Salta, Catamarca y La Rioja (al sur de la Puna) el test rechaza la hipótesis nula de pertenencia a la misma población estadística, evidenciando un cambio (aumento) significativo en la precipitación. Este resultado ya había sido obtenido para Abra Pampa con una serie temporal más corta (Maggi et al., 2015). En La Quiaca el test no rechaza la hipótesis nula (Tabla 3.3).

Al comparar la precipitación entre bloques para Abra Pampa y La Quiaca, vemos que el Bloque 2 presenta en ambas localidades una media superior. En el caso de La Quiaca los cambios acompañan lo observado en Abra Pampa, pero fueron de menor magnitud, razón por la cual el test de Tukey no rechaza la hipótesis de pertenencia a la misma población cuando el nivel de exigencia es alto ($\alpha = 0.05$) (Tabla 3.3). A pesar de este resultado, es improbable que el cambio en la media de las poblaciones no haya sucedido también en La Quiaca, pues la distancia entre estas localidades es de solo 84 km, ambas están en la Puna a casi igual altitud y con una diferencia mínima en su longitud geográfica. Además, el test de Yamamoto indica claramente saltos climáticos en ambas localidades. Por ello, hemos efectuado el mismo test para La Quiaca con todos los datos disponibles (desde 1902), tomando como Bloque 1 el período 1911/12 – 1975/76. En este caso el test de Tukey rechaza la hipótesis de pertenencia a la misma población estadística y muestra al Bloque 2 con una precipitación media significativamente mayor (Tabla 3.3). Este resultado es coherente con lo observado en las restantes localidades.

El aumento relativamente menor de la precipitación en La Quiaca en comparación con Abra Pampa a partir de la TCP, puede deberse a la ubicación particular de La Quiaca.

Podemos inferir, apoyados en los resultados que se muestran en la Tabla 3.3., que posteriormente a la TCP hubo un cambio significativo en la precipitación en la sub-región semiárida del NOA, que incluye a la Puna, manifestado en sus valores medios y variabilidades.

3.5.3. Tendencias recientes de la precipitación en la región NOA.

En la Tabla 3.4. se muestran, para las seis localidades estudiadas, las medias de precipitación O-A en los cuatro períodos denominados como: P1 (antes de la TCP) y P2 (a partir de la TCP). Además, las subdivisiones del P2 después de la TCP: P3 (1976/77 –1995/96) y P4 (1996/97 – 2015/16), y se realizarán las razones entre los montos de estos períodos, P2/P1, P4/P3 y P4/P1 denominadas respectivamente P21, P43 y P41. Se indica en cada caso el tamaño de la muestra (N).

Tabla 3.4. Valores promedio de precipitación (mm) en el período octubre – abril (O-A) en La Quiaca (LQ), Abra Pampa (AP), Catamarca (CA), La Rioja (LR), Salta (SA) y Tucumán (TU) en los cuatro períodos denominados P1, P2 P3 y P4, y razones entre los montos de los períodos indicados. Los últimos 20 años (1996/97 – 2015/16) y los anteriores 20 años (1976/77 –1995/96) pertenecen al período a partir de la TCP. Se indica en cada caso el tamaño de la muestra (N).

Denominación	Período	N	LQ	AP	CA	LR	SA	TU
P1	1935/36 – 1975/76	41	308	248	345	301	650	869
P2	1976/77 – 2015/16	40	344	336	391	385	738	996
P3	1976/77 – 1995/96	20	361	353	423	393	746	1018
P4	1996/97 – 2015/16	20	327	318	359	378	730	975
P21	Razón P2 / P1		1,12	1,36	1,13	1,28	1,14	1,15
P43	Razón P4 / P3		0,90	0,90	0,85	0,96	0,98	0,96
P41	Razón P4 / P1		1,06	1,28	1,04	1,26	1,12	1,12

Fuente y elaboración: Maggi y Barrera.

Las razones P21 muestran que la precipitación aumentó sensiblemente a partir de la TCP en las seis localidades de la región NOA.

Las razones P43 muestran tendencias decrecientes de la precipitación en los últimos 20 años –con respecto a los 20 años precedentes- en las seis localidades de la región NOA. Vemos en la Tabla 3.4. que en Abra Pampa y La Quiaca las disminuciones son similares y aproximadamente del 10%, mientras que en La Rioja, Salta y Tucumán se registraron disminuciones mucho menores (entre 2% y 4%), y en y Catamarca se observa una disminución mayor (15%). Estos resultados actualizan lo hallado por Minetti et al. (2003), quienes con series de precipitación del período 1931/32 – 1998/99 reportaron tendencias decrecientes en La Quiaca y Catamarca en la década de 1990, y tendencias crecientes permanentes en las localidades de Salta, Tucumán y La Rioja. Estos resultados muestran que estas tres localidades acusaron un descenso más tardío y menos importante.

Las razones P41 indican que, a pesar de las disminuciones observadas en el período P4, la precipitación en este período sigue siendo mayor que en el período P1 (antes de la TCP) en todo el NOA.

Es de destacar que, para Catamarca, si se considera la precipitación del período julio-junio, las razones P21, P43 y P41 aumentan de 1,13 a 1,14, de 0,85 a 0,87 y de 1,04 a 1,06 respectivamente. Ello se debe al alargamiento del lapso de lluvias a partir de la TCP, con más precipitaciones fuera del período O-A.

3.6. Conclusiones del Capítulo 3.

Se verifico la ocurrencia de saltos climáticos en la precipitación de las cinco localidades estudiadas pertenecientes a la sub-región semiárida del NOA –incluido el Altiplano Argentino-, en la década de 1970. No hay reportes a este respecto en el resto del Altiplano situado en Bolivia y Chile. Los saltos encontrados están en armonía con la TCP de 1976/77.

En Tucumán, situado en la subregión húmeda del NOA, no se detectó un salto climático en el período estudiado. No obstante, como ya se ha mencionado, Minetti y Vargas (1997) informaron un salto en 1956 que está en armonía con lo ocurrido en la región húmeda más al este.

En consecuencia, podemos concluir que los saltos climáticos en el NOA en la década de 1970 quedaron restringidos a la región semiárida.

Se hallaron tendencias decrecientes de la precipitación a partir de la década de 1990 en toda la región NOA (las seis localidades), más pronunciadas en La Quiaca, Abra Pampa y Catamarca. Sin embargo, en el período 1996/97 -2015/16 la precipitación media continúa siendo mayor que la del período 1935/36 -1975/76 (antes de la TCP) en toda la región NOA.

Capítulo 4

Capítulo 4. Determinación de la influencia del fenómeno ENOS sobre la variabilidad interanual de la precipitación en la región NOA para las condiciones climáticas actuales. Estudio más detallado en la Puna.

4.1. Introducción

Como se explicó en el Capítulo 2, el calentamiento de la tropopausa tropical durante la fase cálida del ENOS resulta en una intensificación de los vientos oestes en altura en latitudes subtropicales justo al este de los Andes y a una intensificación de la Alta de Bolivia junto con una intensificación del flujo noroeste-sudeste en capas bajas en el flanco oriental de la cordillera de los Andes (Vuille, 1999). Ello conduce a un decrecimiento del transporte regional de humedad hacia la Puna desde las tierras bajas al este de aquella (Trauth y otros, 2000).

En armonía con este hecho, se ha verificado en forma preliminar en el altiplano una disminución en el promedio climático de la precipitación durante períodos Niño con escasos registros pluviométricos en Bolivia y Chile, con valores generalmente inferiores al promedio histórico (Garreaud, 1999; Garreaud y Aceituno, 2001). No hay estudios previos sobre esta cuestión en la Puna Argentina.

Este descenso de la precipitación en el Altiplano que preferentemente ocurre durante una fase cálida estaría también relacionado con la inhibición de la convección profunda debida a la intensificación de la Alta de Bolivia (Vuille, 1999; Trauth y otros, 2000; Diaz y otros, 2001; Garreaud y Aceituno, 2001; Nogués-Paegle y otros, 2002).

Según Garreaud y Seluchi (2001) la intensidad y posición del jet subtropical parece ser la causa más importante para facilitar o dificultar el ascenso del aire húmedo desde las planicies ubicadas al este hacia el altiplano, y probablemente allí reside la relación entre la precipitación altiplánica y las fases del ENOS, ya que este modifica el comportamiento del Jet.

En algunos casos esta relación causa-efecto no se cumple, lo cual indica que hay otros factores intervinientes (Ambrizzi y otros, 2004).

De acuerdo con este análisis de la dinámica atmosférica hecho por otros autores, debería ocurrir lo inverso durante la fase fría (Niña), lo cual no está claramente probado.

4.2. Metodología desarrollada.

4.2.1. Índices ENOS representativos del período monzónico y grado de asociación entre ellos.

Los eventos ENOS se han identificado históricamente por medio de tres índices, los cuales hemos usado en este trabajo; los mismos se basan en valores mensuales de ciertas variables atmosféricas y oceánicas. Se analizaron los valores mensuales de los períodos O-A desde 1950/51 hasta 2015/16.

El primero de estos índices, y el más antiguo, es el Southern Oscillation Index (SOI) que se calcula con valores de presión media mensual estandarizada a nivel del mar en las localidades de Tahití (Pacífico central) y Darwin (Pacífico occidental)

(Troup, 1965). Los datos del índice SOI usados en este trabajo se obtuvieron, para el lapso a partir de febrero de 1951, disponibles en el sitio <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/> y fueron elaborados por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Los índices SOI están definidos por la NOAA para cada mes del año, como promedios móviles de tres meses centrados en el mes analizado, y son calculados a partir de los respectivos índices mensuales.

La serie se completó con los índices correspondientes a los meses de octubre de 1950 a enero de 1951. Para ello se calculó los respectivos promedios móviles de tres meses, a partir de los índices mensuales originales que se obtuvieron del Bureau of Meteorology de Australia, del sitio http://www.bom.gov.au/climate/enso/soi_monthly.txt.

El segundo índice usado es el ONI (Oceanic Niño Index), definido como el promedio móvil de tres meses de las anomalías mensuales de temperatura de la superficie del mar (que actualmente es estimada mediante teledetección remota satelital), cuyos valores son tomados de la base de datos del Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST) en la región Niño 3.4 (5°S–5°N, 120°O–170°O) (Barnston y otros, 1997). Las anomalías son desviaciones del valor medio sobre un período que abarca los últimos 30 años, y que se actualiza cada cinco años. Los datos mensuales del índice ONI se obtuvieron del sitio web de la NOAA antes mencionado.

El tercer índice utilizado, el Multivariate ENSO Index (MEI), fue elaborado usando la técnica de componentes principales, en la cual las variables explicativas son la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico tropical y cinco variables atmosféricas en la misma región generadas por un modelo numérico de circulación global: presión atmosférica superficial, componentes zonal y meridional del viento en superficie, temperatura del aire en superficie y nubosidad (Wolter y Timlin, 1998 y 2011). Los índices MEI son bimensuales y la NOAA construye una serie MEI mensual efectuando promedios móviles del mes en cuestión (i) y el anterior (i-1). Esta serie está disponible en el sitio web: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>.

Se construyeron series de valores acumulados en el período O-A de los índices mensuales SOI, ONI y MEI. Para este último (que es un promedio móvil bimensual) se consideró como valor del mes (i) el obtenido por los autores con los meses (i) e (i-1). Se ha procedido así pues a los efectos de relacionar la precipitación del mes i con el índice MEI sus autores recomiendan tomar el mes i del índice, ya que hay un retraso de aproximadamente una semana en la respuesta atmosférica a las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico tropical, de modo que el mes anterior también está involucrado (Wolter y Timlin, 2011).

A estos nuevos índices los denominamos *SOI_O-A*, *ONI_O-A* y *MEI_O-A*; los mismos son independientes de la región estudiada en este trabajo y tienen validez global. Se efectuaron regresiones lineales y también polinómicas de orden 2 entre los tres índices tomados de a pares, y se obtuvieron los coeficientes de determinación respectivos, a fin de determinar el grado de asociación entre ellos.

4.2.2. Relaciones entre la precipitación y las fases ENOS

En el capítulo 2 hemos demostrado que solo en la Puna existe una asociación relevante entre la precipitación y el ENOS, por lo cual hemos enfocado los análisis separando por fases del fenómeno ENOS a las dos localidades altiplánicas estudiadas.

Puesto que en nuestro trabajo necesitamos índices representativos del período O-A (que cubre en gran medida la estación lluviosa) para comparar con la precipitación acumulada en dicho período monzónico (M), hemos propuesto tres índices para cada localidad L que tengan en cuenta la contribución de la precipitación media mensual en dicho período M .

Denominamos SOI_M_L , ONI_M_L y MEI_M_L a dichos índices, que se construyen con los índices mensuales SOI, ONI y MEI respectivamente.

$$SOI_M_L = \sum_j c_j SOI_j \quad c_j = \frac{PM_j}{PM_{OA}} \quad ; \quad (4.1)$$

$$ONI_M_L = \sum_j c_j ONI_j \quad (4.2)$$

$$MEI_M_L = \sum_j c_j MEI_j \quad (4.3)$$

SOI_j : Índice SOI del mes j

ONI_j : Índice ONI del mes j

MEI_j : Índice MEI del mes j

c_j : Coeficiente de ponderación del mes j , con $j=1\dots7$ cubriendo los meses de Octubre a Abril

PM_j : Precipitación media climática del mes j en la localidad analizada

PM_{OA} : Precipitación media climática del período O-A en la localidad analizada

La localidad L es representada por AP para Abra Pampa y LQ para La Quiaca (índices SOI_M_AP y SOI_M_LQ respectivamente, y lo mismo para los índices basados en ONI y en MEI).

Los coeficientes de peso mensuales para cada localidad se obtuvieron con datos pluviométricos de las estaciones estudiadas, para el período disponible 1935/36 a 2015/16 a fin de lograr el máximo de estabilidad en dichos coeficientes.

Al analizar la relación entre el ENOS y la precipitación se trabajó con el período 1950/51 – 2015/16 para el cual hay disponibilidad de los índices basados en SOI, ONI y en MEI.

Se efectuaron, para las seis estaciones de la región NOA, regresiones lineales y polinómicas de orden 2 entre la precipitación O-A y los índices ENOS ponderados

(ecuaciones 4.1, 4.2 y 4.3) obtenidos para cada localidad y para el período 1950/51 – 2015/16.

Además, se repitió el análisis para dos sub-muestras, una hasta la TCP y otra a partir de la misma. De este modo se puede apreciar, para la región NOA en su conjunto, el impacto de dicha transición en la precipitación del período monzónico. Esto se trata en detalle para La Puna en este capítulo.

Se obtuvieron las curvas de regresión (polinomios de orden 2) y los coeficientes de determinación al relacionar la precipitación O-A en Abra Pampa y La Quiaca con los índices *MEI_M*, *SOI_M* y *ONI_M* de cada localidad. Se efectuaron ajustes regresivos con su banda de predicción de 90%, para el período 1950/51 – 2015/16. De este modo se analizaron los ajustes funcionales y también los porcentajes de variabilidad de la precipitación explicada por dichos índices.

Además, a partir de las series de precipitación acumulada O-A de La Quiaca y Abra Pampa se construyeron muestras según fase Neutra, Niña o Niño (en adelante NE, NA y NO respectivamente), discriminadas según el criterio ONI, el cual mostró mayor asociación con la precipitación en las seis localidades del NOA estudiadas. La clasificación por fases adoptada, basada en este índice, se explica en la sección siguiente.

4.2.3. Determinación de fases del ENOS para el período monzónico octubre-abril.

A fin de enfocarnos en la Puna Argentina, promediamos en forma ponderada los coeficientes para La Quiaca y Abra Pampa, con doble peso para esta última localidad por ser más representativa del régimen pluviométrico en esta región según se explica en el punto 4.3.2.5 de los resultados. De este modo, se obtuvo para los siete meses del período, los siguientes valores porcentuales de los coeficientes comenzando por octubre: 2,6; 7,1; 20,5; 28,0; 24,5; 14,8; 2,5. El mes de mayor contribución es enero, seguidos por febrero, diciembre, marzo, noviembre, octubre y abril, con pesos casi despreciables de estos dos últimos meses.

La contribución a la precipitación registró el mismo orden jerárquico de los meses en las restantes cuatro localidades estudiadas. Se tuvieron en cuenta estos pesos relativos para clasificar los períodos O-A como de fase cálida (NO), fría (NA) o neutra (NE), ya que se buscó que la ponderación refleje la intensidad del régimen monzónico en el período O-A y se asocie dicha intensidad con la precipitación.

Además, los resultados de las regresiones polinómicas de orden 2 entre la precipitación O-A y los índices ENOS ponderados indicaron claramente que las asociaciones más relevantes para La Quiaca y Abra Pampa se dan con los ajustes polinómicos y con el índice monzónico *ONI_M* basado en el índice mensual ONI (ver resultados en la Figura 4.2). Por lo tanto, se resuelve aplicar este índice para discriminar y clasificar los períodos monzónicos como NA, NE o NO.

Por otra parte, diversos estudiosos del fenómeno ENOS han adoptado el valor absoluto 0,5 del índice mensual ONI como umbral de la anomalía de temperatura de la superficie del mar en la región Niño 3.4 para decidir si ese mes en particular es NA o

NO (Trenberth, 1997; Trenberth y Caron, 2000; Trenberth y Stepaniak, 2001; Trenberth y otros, 2007).

En consonancia con ello, se ubicó esta condición para el índice ONI en el mes central del verano, enero. Para los meses contiguos a enero disminuimos ligeramente la exigencia, pero se exige que la suma de los índices de diciembre a febrero sea igual o mayor que 1,7 en valor absoluto, de ese modo asegurarnos que se trata de un verano NA o NO. Para noviembre y marzo disminuimos aún más las exigencias, dado que su contribución a la precipitación O-A es notablemente más baja que la de los tres meses de verano. Para noviembre se exige que su valor sea tal que el acumulado de noviembre a febrero sea igual o mayor que 1,9. Para marzo, puesto que su precipitación media es casi el doble que la de noviembre, exigimos que su índice ONI sea tal que el acumulado de diciembre a marzo sea igual o mayor que 2,0, y admitimos que dicho valor sea igual a 1,9 solo si el índice de marzo es 0,2. No se impone condiciones a la precipitación de octubre y abril por tener poco peso en el total O-A. De acuerdo con estas consideraciones, desarrollamos a continuación la clasificación según el criterio ONI.

Adoptamos el siguiente criterio para clasificar, según el índice mensual ONI, los períodos Octubre-Abril en fase NE, NA o NO. Notamos con la letra inicial de cada mes al índice ONI correspondiente a dicho mes.

Fase NO si se cumple que:

$$ENE \geq 0,5 \quad ; \quad DIC \geq 0,4 \quad ; \quad FEB \geq 0,4$$

$$DIC + ENE + FEB \geq 1,7$$

$$NOV \geq 0,2 \quad \text{si} \quad DIC + ENE + FEB = 1,7$$

$$NOV \geq 0,1 \quad \text{si} \quad DIC + ENE + FEB = 1,8$$

En las dos inecuaciones precedentes, la igualdad en el índice ONI acumulado de diciembre a febrero se usa debido a que la precisión de los datos disponibles es de un decimal, por lo que el índice acumulado no puede tomar valores intermedios.

$$NOV \geq 0 \quad \text{si} \quad DIC + ENE + FEB \geq 1,9$$

$$MAR \geq 0,2 \quad \text{si} \quad 1,7 \leq DIC + ENE + FEB \leq 1,8$$

$$MAR \geq 0,1 \quad \text{si} \quad 1,9 \leq DIC + ENE + FEB \leq 2,0$$

$$MAR \geq 0 \quad \text{si} \quad DIC + ENE + FEB \geq 2,1$$

Se adoptó el criterio especular (valores negativos) para la fase NA. Se asignó la fase NE a los restantes períodos O-A que no resultaron categorizados como NO o NA.

4.3. Resultados

4.3.1. Características de los índices SOI_O-A, ONI_O-A Y MEI_O-A y asociación entre ellos.

Para los 66 casos analizados (períodos O-A) los tres índices presentan distribuciones asimétricas negativas, con los estadísticos que se detallan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Descriptores estadísticos de los índices SOI_O-A, ONI_O-A y MEI_O-A, para el período 1950/51-2015/16.

Índice	Media	Mediana	1°cuartil	3°cuartil	Mín.	Máx.
SOI_O-A	0,93	0,85	-2,43	4,18	-16,5	15,0
ONI_O-A	0,25	-0,35	-3,65	3,98	-10,9	13,5
MEI_O-A	0,36	-0,18	-4,51	4,68	-12,2	18,3

Fuente: Barrera y Maggi (2018).

En la Figura 4.1 se muestran los ajustes regresivos no lineales (polinomios de orden 2) entre los índices representativos del semestre cálido SOI_O-A, ONI_O-A y MEI_O-A tomados de a pares, los valores puntuales obtenidos y los coeficientes de determinación respectivos (R^2) a fin de conocer el grado de asociación entre ellos.

Se presentan solo las regresiones polinómicas, ya que en todos los casos estas mostraron mejores ajustes que las funciones lineales, evidenciados por mayor R^2 y menor término independiente en la ecuación del modelo polinómico propuesto, con respecto al respectivo modelo lineal.

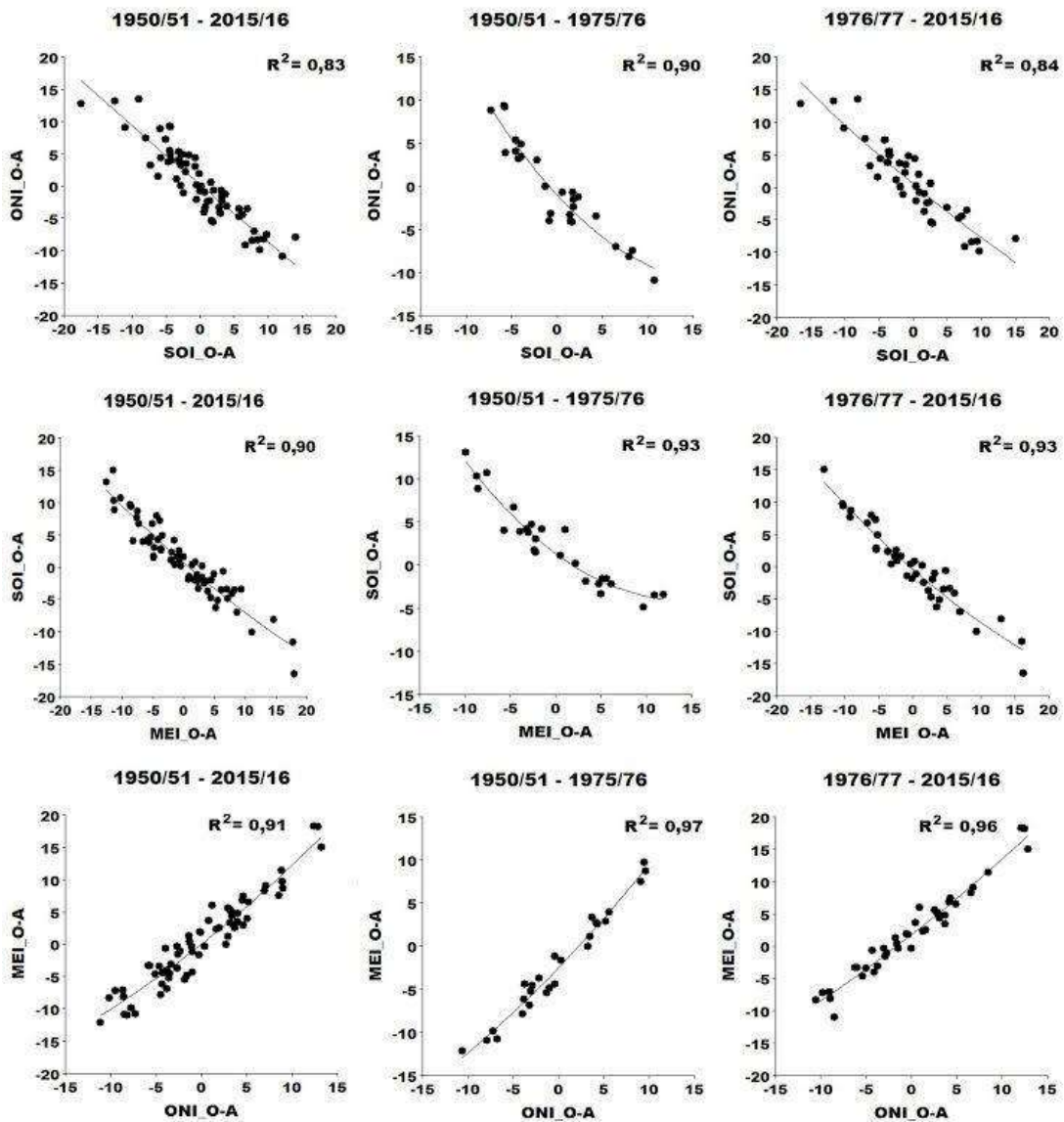


Figura 4.1. Diagramas de dispersión que relacionan de a pares los índices SOI_O-A, ONI_O-A y MEI_O-A. Regresiones polinómicas de orden 2 y sus coeficientes de determinación, para los periodos 1950/51–2015/16, 1950/51–1975/76 y 1976/77–2015/2016. Fuente: Barrera y Maggi (2018).

4.3.2. Los índices SOI_M, ONI_M y MEI_M. Relación con la precipitación.

4.3.2.1. Análisis para la región NOA.

En la Tabla 4.2. se muestran los porcentajes mensuales de la precipitación total del período O-A, obtenidos para las seis localidades estudiadas. Con ellos se obtuvieron los coeficientes de peso mensuales que se usaron para obtener los índices SOI_M, ONI_M y MEI_M específicos para cada localidad y ya definidos (ecuaciones 4.1, 4.2 y 4.3).

Tabla 4.2. Lista de coeficientes de ponderación (pesos) de la precipitación mensual en el período octubre – abril (O-A) para las localidades analizadas. Los pesos indican la contribución de la precipitación media de cada mes al total acumulado en el período Octubre de 1935/36 a 2015/16.

Ajustarla a los
margenes

LOCALIDAD	Peso 1 Octubre	Peso 2 Noviembre	Peso 3 Diciembre	Peso 4 Enero	Peso 5 Febrero	Peso 6 Marzo	Peso 7 Abril
La Quiaca	0,045	0,088	0,218	0,271	0,207	0,147	0,024
Abra Pampa	0,017	0,062	0,198	0,285	0,264	0,149	0,025
Salta	0,035	0,089	0,192	0,266	0,219	0,154	0,045
Tucumán	0,069	0,109	0,174	0,226	0,183	0,167	0,072
Catamarca	0,064	0,119	0,165	0,227	0,212	0,149	0,064
La Rioja	0,056	0,100	0,169	0,226	0,206	0,180	0,063

Fuente: Barrera y Maggi (2018).

4.3.2.2. Asociación entre la precipitación en la Puna y los índices ENOS ponderados.

Se efectuó un análisis más profundo con las series de las dos localidades puneñas. Se hicieron ajustes regresivos polinómicos de segundo grado en todos los casos, con sus bandas de predicción de 90%, para las series de precipitación acumulada O-A en La Quiaca (LQ) y Abra Pampa (AP) versus los índices SOI_M, ONI_M y MEI_M específicos para cada localidad, para el período 1950/51 – 2015/16. Se indica en cada caso el coeficiente de determinación.

Se aplicaron modelos polinomiales en vez de lineales porque las relaciones funcionales evidentemente no son lineales. Esto es así pues si se promedian los valores de precipitación por franjas de los índices SOI_M, ONI_M y MEI_M, se observa que generalmente los máximos se ubican en las franjas intermedias de dichos índices, las cuales se corresponden con la fase NE.

En la Figura 4.2 se muestran las regresiones obtenidas para la precipitación acumulada O-A en el período de disponibilidad de los índices ENOS (1950/51 – 2015/16). Se verifica que la precipitación de AP ajusta mejor que la de LQ para los índices SOI_M y ONI_M; idéntico resultado se ve al promediar los R^2 de los tres índices. Los ajustes evidencian una relación funcional relevante, aunque débil. Para el índice ONI_M, las correlaciones no lineales son 0,41 para La Quiaca y 0,46 para Abra Pampa.

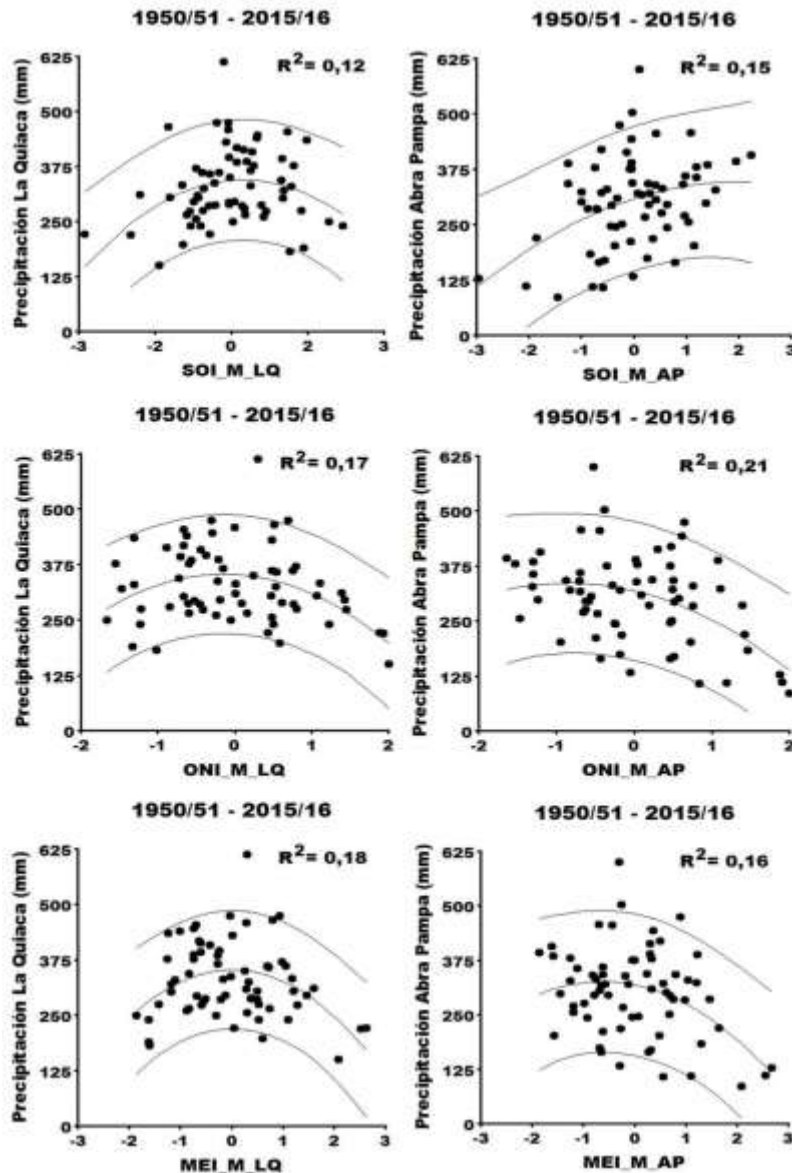


Figura 4.2. Precipitación acumulada O-A en La Quiaca y Abra Pampa. En función de los índices SOI_M, ONI_M y MEI_M obtenidos para cada localidad. Regresiones polinómicas de orden 2 y sus bandas de predicción de 90% para el período 1950/51 – 2015/16. Se indica en cada caso el coeficiente de determinación. Fuente: Barrera y Maggi (2018).

4.3.2.3. Análisis para Abra Pampa.

Para el período 1950/1951 a 2015/2016 se efectuó la clasificación por fases NE, NA y NO de los períodos monzónicos O-A. Los resultados para Abra Pampa se muestran en la Tabla 4.3., con los casos ordenados según el índice ONI_M_AP.

Vemos que valores absolutos de este índice iguales a 0,57 separan eficientemente y con muy pocas excepciones los períodos monzónicos, o casos, en fase NO, NE y NA, lo cual se verifica también para LQ. Los 18 casos con dicho índice por

Tabla 4.3. Abra Pampa. Discriminación por fases Neutra (NE), Niña (NA) y Niño (NO) para el período octubre-abril (O-A). Los casos se muestran en orden creciente del índice ONI_M_AP. Se muestra asimismo la precipitación O-A en Abra Pampa. La serie cubre el lapso 1950/51 a 2015/16. Los veranos a partir del salto climático están en negrita. Los 16 mínimos de precipitación están en color rojo oscuro, con los 9 menores en negrita. Los 16 máximos de precipitación están en color celeste, con los 9 mayores en negrita.

Período	Índice	Fase	AP	Período	Índice	Fase	AP
Oct-Abr	ONI-M	ENOS	(mm)	Oct-Abr	ONI-M	ENOS	(mm)
1973 / 74	-1,61	NA	392	1960 / 61	-0,01	NE	133
1988 / 89	-1,50	NA	379	1978 / 79	0,05	NE	388
1999 / 00	-1,44	NA	256	1981 / 82	0,06	NE	339
2007 / 08	-1,28	NA	328	1989 / 90	0,08	NE	377
1975 / 76	-1,27	NA	384	1993 / 94	0,12	NE	308
1998 / 99	-1,27	NA	357	1992 / 93	0,22	NE	285
1970 / 71	-1,21	NA	298	2003 / 04	0,27	NE	343
2010 / 11	-1,18	NA	406	1990 / 91	0,34	NE	413
1955 / 56	-0,92	NA	201	1951 / 52	0,50	NE	163
1984 / 85	-0,85	NA	341	1953 / 54	0,50	NE	375
1995 / 96	-0,80	NA	319	1952 / 53	0,50	NE	246
2011 / 12	-0,67	NA	339	2014 / 15	0,50	NE	418
2000 / 01	-0,66	NA	359	1979 / 80	0,52	NO	251
1967 / 68	-0,66	NA	316	1958 / 59	0,53	NO	321
2008 / 09	-0,65	NA	456	1977 / 78	0,53	NO	342
1950 / 51	-0,62	NA	269	2006 / 07	0,54	NE	293
1954 / 55	-0,59	NA	276	1969 / 70	0,55	NO	169
2005 / 06	-0,59	NA	295	2004 / 05	0,61	NO	300
1974 / 75	-0,55	NE	294	1976 / 77	0,64	NO	443
1971 / 72	-0,53	NE	305	1987 / 88	0,68	NO	474
1983 / 84	-0,49	NE	600	1963 / 64	0,76	NO	202
1964 / 65	-0,46	NE	211	1994 / 95	0,79	NO	329
2013 / 14	-0,44	NE	266	2002 / 03	0,79	NO	283
1996 / 97	-0,41	NE	455	1968 / 69	0,87	NO	107
1966 / 67	-0,40	NE	163	1986 / 87	1,11	NO	387
1985 / 86	-0,35	NE	502	2009 / 10	1,14	NO	322
2012 / 13	-0,32	NE	375	1965 / 66	1,22	NO	109
1962 / 63	-0,25	NE	331	1972 / 73	1,42	NO	285
1980 / 81	-0,22	NE	245	1991 / 92	1,46	NO	219
1961 / 62	-0,20	NE	242	1957 / 58	1,50	NO	182
2001 / 02	-0,14	NE	319	1982 / 83	1,91	NO	128
1956 / 57	-0,14	NE	173	1997 / 98	1,94	NO	110
1959 / 60	-0,12	NE	218	2015 / 16	2,02	NO	85

Fuente: Barrera y Maggi (2018).

debajo de -0,57 son en fase NA, y por encima de 0,57 los 16 casos registrados ocurrieron en fase NO.

Asimismo, en la serie total disponible 1935/36 a 2015/16 de Abra Pampa se verifica que los 16 máximos de precipitación O-A se ubican después del salto climático de 1970/71; se resaltan en color celeste en la Tabla 4.3. El menor de ellos es 375 mm en 2012/13, que se iguala en 1953/54, pero en el primer período nombrado la precipitación durante julio a junio supera al segundo por 2,8mm.

Debido al hecho observado del impacto causado por la TCP en la precipitación de toda la región NOA, según se ha mostrado en el capítulo 2, hemos considerado necesario efectuar un análisis de los eventos ENOS en la Puna por separado, para los lapsos antes de la TCP y a partir de la misma. **Un estudio más detallado se efectúa en el capítulo 4.**

Se ve claramente la predominancia de la fase NE en los máximos de precipitación O-A. También se muestra en la Tabla 4.3. que, de los 9 valores más bajos, 6 son en fase NO; estos resultados están de acuerdo con lo esperado según se explicó en la sección metodológica, ya que en fase NO la convección en la Puna está inhibida debido a la intensificación de la presión en niveles altos de la atmósfera sobre el Altiplano (Alta de Bolivia).

4.3.2.4. Análisis para La Quiaca

Se repitieron las variables de la sección anterior para La Quiaca (Tabla 4.4) en el período 1950/51- 2015/2016. Los casos están ordenados en forma creciente según el índice ONI_M_LQ.

A fin de mostrar las evidencias de un comportamiento singular de la precipitación en La Quiaca, se incluyen a continuación comentarios sobre los resultados obtenidos al considerar la TCP. **Dichos resultados se muestran con más detalle en el capítulo 4.**

En la serie 1935/1936 a 2015/2016 de esta localidad se verifica que los máximos de precipitación O-A se ubican en general a partir del salto climático coincidente con la TCP, y los 6 mayores pertenecen a dicho período, que se incluye en esta Tabla. De estos 6 máximos, se observa que 3 de ellos ocurrieron en fase NE, 2 en NO y 1 en NA. De Los 15 mayores valores ocurridos en el período 1950/51 – 2015/16, 11 se ubican después de la TCP.

En la Tabla 4.4. se tienen 66 períodos O-A (1950/51 – 2015/16). De los 20 casos con menor precipitación, 14 de ellos se registraron antes de la TCP (el 53,8% de los 26 casos de la sub-muestra). Los 6 casos restantes se ubican a partir de la TCP, es decir, el 15% sobre 40 casos.

Tabla 4.4. La Quiaca. Discriminación por fases Neutra (NE), Niña (NA) y Niño (NO) para el período octubre-abril (O-A). Los casos se muestran en orden creciente del índice ONI_M_AP. Se muestra asimismo la precipitación O-A en La Quiaca. La serie cubre el lapso 1950/51 a 2015/16. Los veranos a partir del salto climático (coincidente con la TCP) están en negrita. Los 16 mínimos de precipitación están en color rojo oscuro, con los 7 menores en negrita. Los 15 máximos de precipitación están en color celeste, con los 6 mayores en negrita.

Período	Índice	Fase	LQ	Período	Índice	Fase	LQ
Oct-Abr	ONI-M	ENOS	(mm)	Oct-Abr	ONI-M	ENOS	(mm)
1973 / 74	-1,63	NA	249	1960 / 61	-0,01	NE	248
1988 / 89	-1,51	NA	376	1978 / 79	0,04	NE	458
1999 / 00	-1,43	NA	320	1981 / 82	0,05	NE	330
1975 / 76	-1,29	NA	189	1989 / 90	0,05	NE	308
1998 / 99	-1,27	NA	329	1993 / 94	0,12	NE	287
2007 / 08	-1,27	NA	435	1992 / 93	0,19	NE	264
2010 / 11	-1,19	NA	239	2003 / 04	0,28	NE	350
1970 / 71	-1,18	NA	274	1990 / 91	0,34	NE	612
1955 / 56	-0,98	NA	182	1952 / 53	0,47	NE	220
1984 / 85	-0,85	NA	412	2014 / 15	0,51	NE	303
1995 / 96	-0,81	NA	279	1951 / 52	0,52	NE	256
2011 / 12	-0,69	NA	343	1953 / 54	0,52	NE	431
2000 / 01	-0,67	NA	392	1979 / 80	0,52	NO	360
1950 / 51	-0,63	NA	303	1958 / 59	0,54	NO	240
1967 / 68	-0,63	NA	417	1977 / 78	0,55	NO	465
2008 / 09	-0,63	NA	453	1969 / 70	0,57	NO	324
1954 / 55	-0,59	NA	439	2006 / 07	0,58	NE	358
2005 / 06	-0,57	NA	287	2004 / 05	0,62	NO	197
1974 / 75	-0,56	NE	264	1976 / 77	0,66	NO	288
1971 / 72	-0,55	NE	376	1987 / 88	0,74	NO	474
1983 / 84	-0,52	NE	385	1994 / 95	0,79	NO	361
1964 / 65	-0,49	NE	293	1963 / 64	0,80	NO	285
2013 / 14	-0,42	NE	284	2002 / 03	0,83	NO	370
1996 / 97	-0,41	NE	407	1968 / 69	0,85	NO	274
1966 / 67	-0,38	NE	272	1986 / 87	1,10	NO	304
1985 / 86	-0,34	NE	394	2009 / 10	1,14	NO	332
2012 / 13	-0,27	NE	474	1965 / 66	1,27	NO	240
1962 / 63	-0,26	NE	445	1991 / 92	1,43	NO	310
1961 / 62	-0,21	NE	260	1972 / 73	1,47	NO	294
1980 / 81	-0,19	NE	337	1957 / 58	1,48	NO	272
1956 / 57	-0,17	NE	385	1982 / 83	1,92	NO	220
2001 / 02	-0,16	NE	295	1997 / 98	1,97	NO	219
1959 / 60	-0,12	NE	365	2015 / 16	2,04	NO	150

Fuente: Barrera y Maggi (2018).

Si restringimos el análisis a los 10 períodos O-A con menor precipitación, 5 de ellos son anteriores y 5 posteriores a la transición climática, lo que contrasta con lo observado en Abra Pampa (7 antes de la TCP y 3 a partir de la TCP).

Pondría como se explica en el apartado siguiente.

Este comportamiento no esperado podría estar relacionado con la ubicación de La Quiaca, como explicamos más adelante. La Tabla 4.5 muestra las frecuencias de mínimos y máximos de precipitación O-A y permite comparar lo ocurrido en La Quiaca y Abra Pampa. En La Quiaca, de los cinco períodos O-A con menor precipitación ocurrieron solo 3 en NO y 2 en NA.

El contraste con Abra Pampa es llamativo, ya que en esta los 5 casos se dieron en fase NO, lo que está en armonía con lo reportado por otros autores en regiones del Altiplano en Bolivia y Chile (Aceituno y Montecinos, 1993; Vuille, 1999; Vuille y otros, 2000; Garreaud y Aceituno, 2001; Ronchail y Gallaire, 2006). De los 10 períodos O-A con menor precipitación, en La Quiaca 3 son en fase NA, mientras que en Abra Pampa ninguno ocurrió en fase NA. Las frecuencias en fase NE son llamativamente menores en La Quiaca que en Abra Pampa. Al analizar los 20 mínimos estas diferencias entre las dos localidades se acentúan. En fase NA ocurrieron 5 casos en La Quiaca y solo 1 en Abra Pampa. Al comparar en estas dos localidades las frecuencias de máximos de precipitación O-A (5,10 y 20 casos), no hallamos diferencias relevantes (ver Tabla 4.5).

4.3.2.5. Hipótesis sobre la singularidad de la precipitación en La Quiaca

En las dos secciones precedentes algunos resultados revelaron características de la precipitación en La Quiaca no esperadas, y distintas a las de la localidad altiplánica vecina Abra Pampa. Se observa asimismo en la serie de La Quiaca, según se deduce fácilmente de la Tabla 4.2, una mayor proporción de precipitación acumulada en primavera y principios del verano (octubre, noviembre y diciembre) en comparación con Abra Pampa: 35,1% contra 27,7 %. El porcentaje en La Quiaca es similar a los registrados en localidades de la región NOA de menor altitud y más húmedas fuera de la Puna, tales como Tucumán (35,2 %) y Catamarca (35,0 %) (Tabla 4.2).

Este resultado no se condice con la explicación de la dinámica atmosférica que dieron Nogués-Paegle y otros (2002). Estos autores encontraron que la zona de convergencia del Atlántico Sur (SACZ) evoluciona en espacio y tiempo durante el monzón sudamericano. En primavera y diciembre, la SACZ está ubicada en suposición más al este, lo que conduce a baja ocurrencia de precipitación en el Altiplano. A partir de enero hay un corrimiento de la SACZ hacia el oeste y la precipitación aumenta sobre el Altiplano, en asociación con la entrada de aire húmedo e inestable en niveles bajos a lo largo del flanco este de los Andes (Nogués-Paegle y otros, 2002). Según este análisis, cabe esperar un aumento importante de la precipitación al pasar de diciembre a enero, lo que se verifica más marcadamente en Abra Pampa que en La Quiaca según se observa en la Tabla 4.2.

Por otra parte, cabría esperar una asociación alta entre la precipitación en La Quiaca y en Abra Pampa para lapsos mensuales o mayores, ya que están casi a la

misma altura snm y distanciadas 85 km, sin cordones montañosos que las separen. Sin embargo, esta asociación no se cumple, como puede observarse en la Figura 4.3 en la cual se muestra el ajuste regresivo lineal efectuado entre las precipitaciones O-A de ambas localidades, para el lapso disponible 1935/36 – 2015/16 (gráfico inferior izquierdo). Se observa una baja correlación entre los mismos ($R=0,542$; $R^2=0.294$), mostrando que ambas localidades responden a condiciones atmosféricas que difieren para ciertos períodos monzónicos. Las discrepancias seguramente responden a eventos meteorológicos particulares que han impactado de manera diferente en ambas localidades, aún en el mismo contexto climático. Si bien dada la alta variabilidad espacial de la lluvia de origen convectivo predominante en la región cabe esperar diferencias cuantitativas en los respectivos registros pluviométricos, ello no justifica que solo el 29,4% de la varianza de la precipitación en La Quiaca esté vinculada en forma determinística a lo ocurrido en Abra Pampa.

Hemos repetido el análisis para los lapsos antes de la TCP y a partir de esta. Se observa que antes de la TCP (Figura 4.3, gráfico superior izquierdo) la asociación era llamativamente más débil ($R=0,449$; $R^2=0.202$). A partir de la TCP (Figura 4.3, gráfico superior derecho), un tercio de la varianza de la precipitación O-A en La Quiaca es explicada por la lluvia en Abra Pampa ($R=0,568$; $R^2=0.323$).

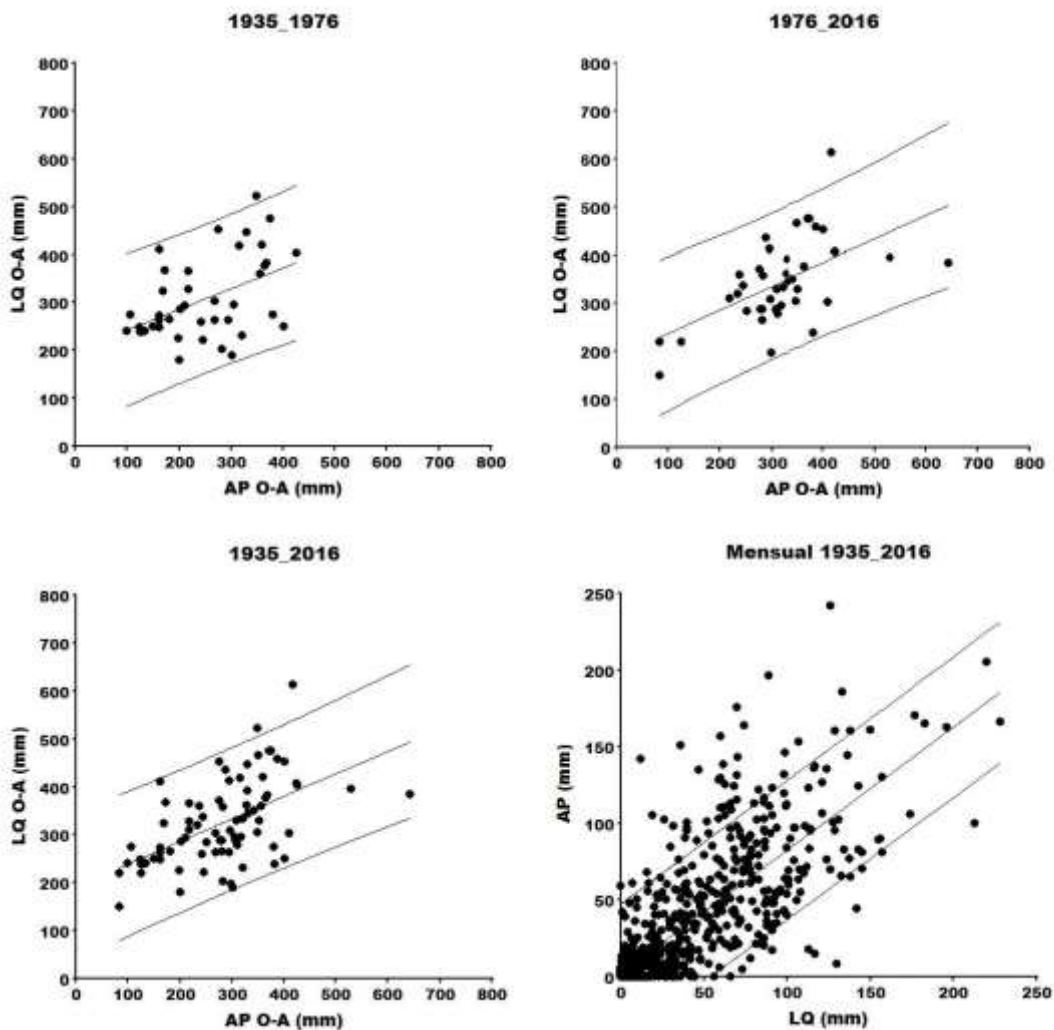


Figura 4.3. Regresión lineal entre la precipitación (mm) en La Quiaca y Abra Pampa, con sus bandas de confianza del 90%. Arriba: Precipitación O-A, períodos 1935/36-1975/76 (izquierda) y 1976/77-2015/16 (derecha). Abajo: Precipitación O-A, período 1935/36-2015/16 (izquierda), y precipitación mensual del lapso O-A, período 1935/36-2015/16. Fuente y elaboración: Maggi y Barrera.

Al efectuar el análisis para los totales mensuales del período O-A en el lapso 1935/36 – 2015/16 se aprecia, como cabía esperar, una mayor dispersión (Figura 4.3, gráfico inferior derecho).

Basados sobre los resultados obtenidos en esta sección y las dos anteriores, presentamos la hipótesis de que la precipitación en La Quiaca tiene una componente adicional a la producida por el mecanismo típico que conduce a lluvias en la Puna, tal como proponemos a continuación.

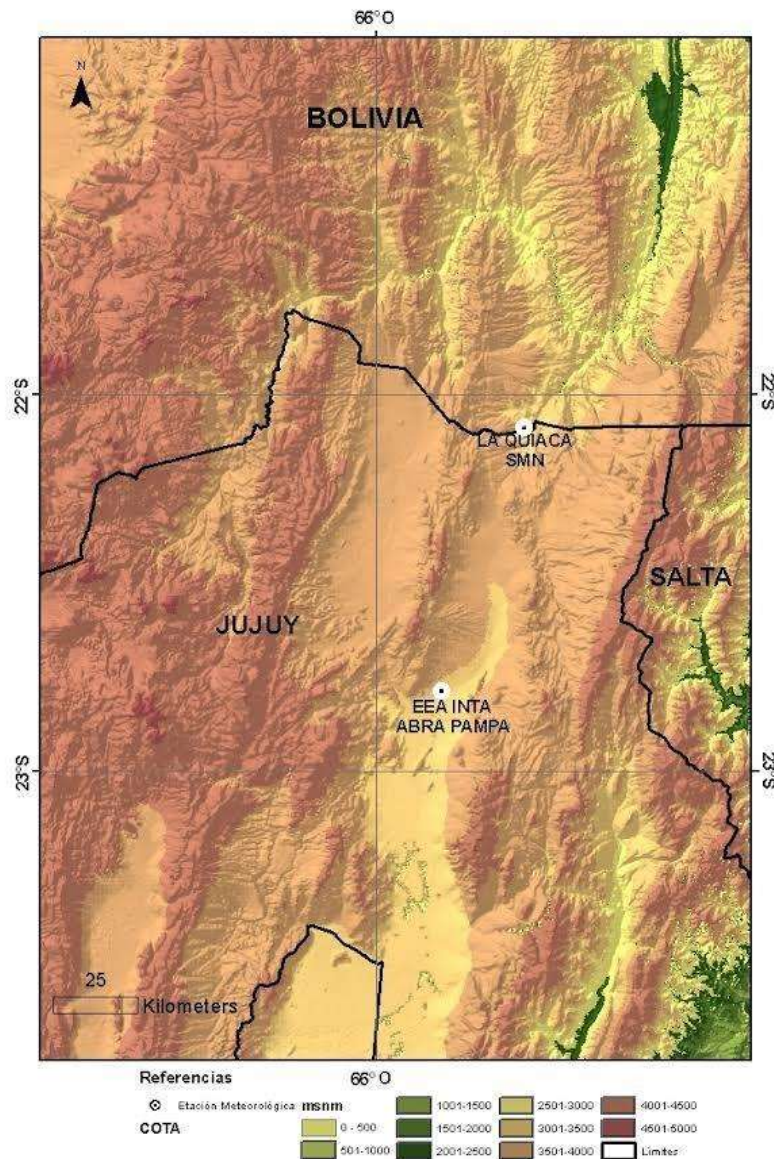


Figura 4.4. Área de la Puna Jujeña y Boliviana con relieve, intervalos de clase de altitud y ubicación de La Quiaca y Abra Pampa. Se aprecia el valle que se abre hacia

el nor-noreste desde las inmediaciones de La Quiaca. Fuente: SRTM y elaboración: Maggi.

La Figura 4.4 muestra el relieve del área de estudio, elaborado con datos altimétricos disponibles en el sitio WEB de la National Aeronautics and Space Administration (NASA): <https://urs.earthdata.nasa.gov/>. Allí se ve que La Quiaca es muy cercana a un valle extenso que se abre hacia el NNE de la localidad, distante a unos 5 km. Desde esa dirección puede eventualmente irrumpir por el valle aire cálido y húmedo que provoque lluvias mediante un proceso distinto al mecanismo clásico de precipitación en la Puna Argentina, caracterizado por advección desde el este y posterior convección en presencia de la Alta de Bolivia debilitada, lo cual no ocurre en fase NO.

La baja proporción de precipitaciones mínimas en fase NO indicaría que, en esta fase, en la cual el flujo norte-sur en capas bajas en el flanco oriental de la cordillera de los Andes está intensificado desde el comienzo de la primavera, hay días en que se dan condiciones para el desencadenamiento de la convección debido al ascenso forzado de aire cálido y húmedo en el extremo sur de dicho valle, casi sobre La Quiaca.

Esto daría lugar, cuando la Alta de Bolivia no es tan intensa, a la ocurrencia de tormentas aisladas y lluvias de origen convectivo sobre esta localidad, que no se dan al interior de la Puna. Esta hipótesis, basada solamente en la precipitación observada en La Quiaca y Abra Pampa, debería ser confirmada con estudios de casos de precipitación en La Quiaca en fase NO, basados en la dinámica de mesoescala del movimiento atmosférico.

Por otra parte, ya se demostró al comparar para el período 1950/51 - 2015/16 las series de precipitación de La Quiaca antes y a partir del salto climático mediante el test de Tukey (Tabla 3.3), no se pudo descartar la hipótesis nula de que ambas muestras estadísticas pertenecen a la misma población, contrariamente al cambio de régimen observado en Abra Pampa, Salta, Catamarca y La Rioja.

Debido a estos resultados estadísticos, consideramos que la precipitación en la localidad de Abra Pampa es más representativa de lo que ocurre en la Puna Argentina, en comparación con los datos de La Quiaca.

Tabla 4.5. Cantidad de valores extremos de precipitación O-A del período 1950/51 – 2015/16 en La Quiaca y Abra Pampa discriminados por fases Neutra (NE), Niña (NA) y Niño (NO). Se muestran las frecuencias de los 5, 10 y 20 valores mínimos (m) y máximos (M).

LQ	5 m	10 m	20 m		5 M	10 M	20 M
NO	3	6	8		2	2	3
NE	0	1	7		3	5	10
NA	2	3	5		0	3	7
AP	5 m	10 m	20 m		5 M	10 M	20 M
NO	5	6	10		1	2	3
NE	0	4	9		3	5	10
NA	0	0	1		1	3	7

Fuente: Barrera y Maggi (2018).

4.4. Conclusiones del Capítulo 4.

Se han diseñado y elaborado tres índices ENOS representativos del período Octubre-Abril (“semestre cálido”), el cual concentra las lluvias en la región subtropical sudamericana): SOI_O-A, ONI_O-A y MEI_O-A, a partir de las series temporales de precipitación elaboradas para el período 1950/51 – 2015/16. Dichos índices están basados respectivamente en los índices mensuales SOI, ONI y MEI. Los mismos incorporan la contribución de la precipitación media mensual local en dicho período.

El grado de asociación entre ellos resultó muy alto. El índice MEI_O-A, como cabía esperar por estar elaborado con seis variables (atmosféricas y oceánicas), es el que mejor ajusta con los otros dos.

Hemos constatado que, de las seis localidades del NOA analizadas, solo en La Quiaca y Abra Pampa los índices ONI_M y MEI_M explican porcentajes importantes de la variabilidad de la precipitación estival, evidenciando la influencia del fenómeno ENOS.

Sin embargo, para las seis localidades del NOA estudiadas, y especialmente para las puneñas (La Quiaca y Abra Pampa) el índice ONI_M explica levemente mejor que el MEI_M la variabilidad de la precipitación estival. Por ello, se ha propuesto y aplicado un criterio para clasificar, a partir de los índices mensuales ONI, los períodos Octubre-Abril en fase NE, NA o NO, con condiciones especulares para clasificar como NA o NO.

En ambas localidades puneñas, a pesar de que la mayoría de los máximos de precipitación ocurren en fase NE, la media de la precipitación en esta fase es similar a la de la fase NA, a causa de que esta última presenta menor variabilidad según los resultados obtenidos. La mayor dispersión en los casos de fase NE indica claramente que otros procesos atmosféricos, además del evento ENOS, inciden sobre la precipitación en la Puna.

Hemos verificado que el grado de asociación entre la precipitación en La Quiaca y en Abra Pampa es mucho menor al esperado dada la proximidad de ambas localidades puneñas, y que dicha asociación ha aumentado a partir de la TCP, pero continúa siendo relativamente débil.

Hemos propuesto la hipótesis de un mecanismo alternativo para explicar la ocurrencia de precipitación en La Quiaca en fase NO, distinto al mecanismo típico que conduce a lluvias en la Puna y que causa discrepancias entre las lluvias de esta localidad y de Abra Pampa. El mismo se apoya en la existencia de un valle extenso que se abre hacia el NNE de esta localidad que permitiría el ingreso de aire cálido y húmedo proveniente de la región amazónica. Esta hipótesis debería ser confirmada con estudios de casos de precipitación en La Quiaca en fase NO, basados en la dinámica de mesoescala del movimiento atmosférico, incluso con el uso de simulaciones numéricas. Verificar este mecanismo está fuera de los objetivos de este trabajo de tesis.

Hemos verificado que la precipitación de AP está más relacionada al signo e intensidad del fenómeno ENOS que la de LQ.

Por el contrario, las localidades del NOA estudiadas fuera de la Puna no muestran una dependencia relevante de la precipitación O-A con las fases del fenómeno ENOS.

Capítulo 5

Capítulo 5. Identificación y cuantificación de los posibles cambios, antes y después de la TCP, en los valores medios y la variabilidad de la precipitación para las tres fases del ENOS en la Puna.

5.1. Introducción

Como hemos visto en el capítulo 1, los datos de temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial muestran que al menos desde 1950 y hasta 1976 los eventos El Niño han sido débiles y de corta duración, mientras que los eventos La Niña fueron en general intensos y más duraderos; este patrón se invirtió a partir del semestre cálido del Hemisferio Sur en 1976/77 (TCP) (Vuille y otros, 2000).

Es importante tener en cuenta el cambio en el régimen de precipitación causado por la transición climática 1976/77 para poder hacer las comparaciones, ya que las posibles anomalías deben expresarse con relación a un valor medio. Por ello se analizaron sub-muestras con los períodos antes y a partir de la TCP. **Llamamos de aquí en adelante Bloque 1 al período 1950/51 – 1975/76 (26 semestres cálidos antes de la TCP) y Bloque 2 al período 1976/77 – 2015/16 (40 semestres cálidos a partir de la TCP).**

5.2. Desarrollo metodológico en relación a la TCP y a las fases del fenómeno ENOS.

5.2.1. Relaciones de la precipitación en el NOA con las fases del ENOS y la TCP.

Se efectuaron, para las seis estaciones de la región NOA, regresiones lineales y polinómicas de orden 2 entre la precipitación O-A y los índices ENOS ponderados (ecuaciones 3, 4 y 5 del capítulo 4) obtenidos para cada localidad y para los Bloques 1 y 2. Se elaboraron los gráficos respectivos. También se hallaron las bandas de confianza al 90% y los coeficientes de determinación (R^2).

De este modo, por comparación entre los resultados para los bloques 1 y 2 se puede apreciar, para la región NOA en su conjunto, el impacto de dicha transición en la precipitación del período monzónico.

Los resultados que se obtuvieron acreditan efectuar un análisis metodológico más detallado para la Puna, lo cual se desarrolla en la sección 5.2.2.

5.2.2. Relaciones de la precipitación en la Puna con las fases del ENOS y la TCP.

Se analizaron separadamente para Abra Pampa y La Quiaca los datos de precipitación O-A y su relación con la fase ENOS para el período completo disponible y para los Bloques 1 y 2.

Se obtuvieron las curvas de regresión (polinomios de orden 2) y los coeficientes de determinación al relacionar la precipitación O-A en Abra Pampa y La Quiaca con los índices *MEI_M*, *SOI_M* y *ONI_M* de cada localidad. Se efectuaron ajustes regresivos con su banda de predicción de 90%, para las series completas (1950/51 – 2015/16) y los períodos 1950/51 – 1975/76, 1976/77 – 2015/16 y 1996/97 – 2015/16. De este modo se analizaron los cambios en los ajustes funcionales en relación a la TCP y también los porcentajes de variabilidad de la precipitación explicada por dichos índices para los últimos 40 y 20 años.

Además, a partir de las sub-series de precipitación acumulada O-A de La Quiaca y Abra Pampa de los períodos antes y a partir de la TCP (Bloques 1 y 2) se construyeron muestras discriminadas según fase Neutra (NE), Niña (NA) o Niño (NO) y se analizaron comparativamente las muestras para cada fase del ENOS.

Asimismo, se presentaron para Abra Pampa y La Quiaca, los resultados en forma de Tablas con los valores de índice *ONI_M_L*, fase ENOS y precipitación O-A ordenados cronológicamente. De esta forma se puede apreciar visualmente lo ocurrido hasta la TCP y a partir de esta.

5.3. Resultados

5.3.1. Resultados para la región NOA.

Se efectuaron, para las seis localidades estudiadas de esta región, ajustes regresivos no lineales (polinómicos de orden 2) entre la precipitación O-A y los dos

índices ENOS ponderados que muestran en general un mejor ajuste (según el R^2) con la precipitación: ONI_M y MEI_M, ambos obtenidos para cada localidad. Las regresiones se hicieron sobre dos períodos: antes y a partir de la TCP. En la Tabla 5.1 se muestran los valores de R^2 obtenidos.

Se puede apreciar que solo en La Quiaca y Abra Pampa los índices ONI_M y MEI_M explican porcentajes relevantes de la variabilidad de la precipitación estival, evidenciando que el fenómeno ENOS tiene un impacto importante en la precipitación O-A de la Puna, si bien no es el único proceso que influye en su variabilidad. En la sección 5.3.2 se analizan en detalle los efectos del ENOS en estas localidades puneñas.

Por el contrario, las localidades fuera de la Puna responden muy débilmente a las fases del fenómeno ENOS, salvo Tucumán antes de la TCP donde con el índice ONI_M_TU se obtuvo un R^2 igual a 0.15. A partir de la TCP el grado de asociación (medido con el R^2) entre la precipitación en estas localidades y los índices ENOS es irrelevante en casi todos los casos. Ver Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Coeficientes de determinación (R^2) de las regresiones polinómicas de orden 2 entre la precipitación O-A y los respectivos índices ONI_M y MEI_M para las localidades analizadas, antes y a partir de la TCP. Se resaltan en negrita los casos de La Quiaca a partir de la TCP y los de Abra Pampa en ambos períodos, en los que se obtuvieron los valores más altos de R^2

Localidad	Índice ENOS	1950/51 – 1975/76	1976/77 – 2015/16
		R^2	R^2
La Quiaca	ONI_M_LQ	0,15	0,23
La Quiaca	MEI-M_LQ	0,18	0,22
Abra Pampa	ONI_M_AP	0,31	0,45
Abra Pampa	MEI-M_AP	0,26	0,44
Salta	ONI_M_SA	0,04	0,10
Salta	MEI-M_SA	0,04	0,10
Tucumán	ONI_M_TU	0,15	0,01
Tucumán	MEI-M_TU	0,13	0,01
Catamarca	ONI_M_CA	0,01	0,02
Catamarca	MEI-M_CA	0,01	0,01
La Rioja	ONI_M_LR	0,04	0,04
La Rioja	MEI-M_LR	0,01	0,01

Fuente: Barrera y Maggi (2018).

5.3.2. Resultados para La Puna.

En consonancia con el hecho comprobado de que a partir de la TCP ocurren eventos NO más intensos, se verifica que para el período de 66 años estudiado los

índices MEI_O-A y ONI_O-A son mayores que 15 y 12 respectivamente en solo tres casos que se ubican en los últimos 34 años del período estudiado: 1982/83, 1997/98 y 2015/16. Estos tres casos se ubican en el extremo derecho del ajuste regresivo respectivo (ver Tabla 4.3 en el capítulo 4) y corresponden a fases NO muy intensas.

Se efectuó un análisis de los índices de El ENOS más detallado que el realizado en el capítulo 4 considerando la TCP con las series de las dos localidades puneñas. Se hicieron ajustes regresivos polinómicos de segundo grado en todos los casos, con sus bandas de predicción de 90%, para las series de precipitación acumulada O-A en La Quiaca (LQ) y Abra Pampa (AP) versus los índices SOI_M, ONI_M y MEI_M específicos para cada localidad, para los períodos 1950/51 – 1975/76 y 1976/77 – 2015/16. Esto se muestra en las Figuras 5.1 (La Quiaca) y 5.2 (Abra Pampa). También se hizo la regresión para el lapso 1996/97 – 2015/16 (últimos veinte años); los resultados se muestran en la Figura 5.3. Se indica en cada caso el coeficiente de determinación.

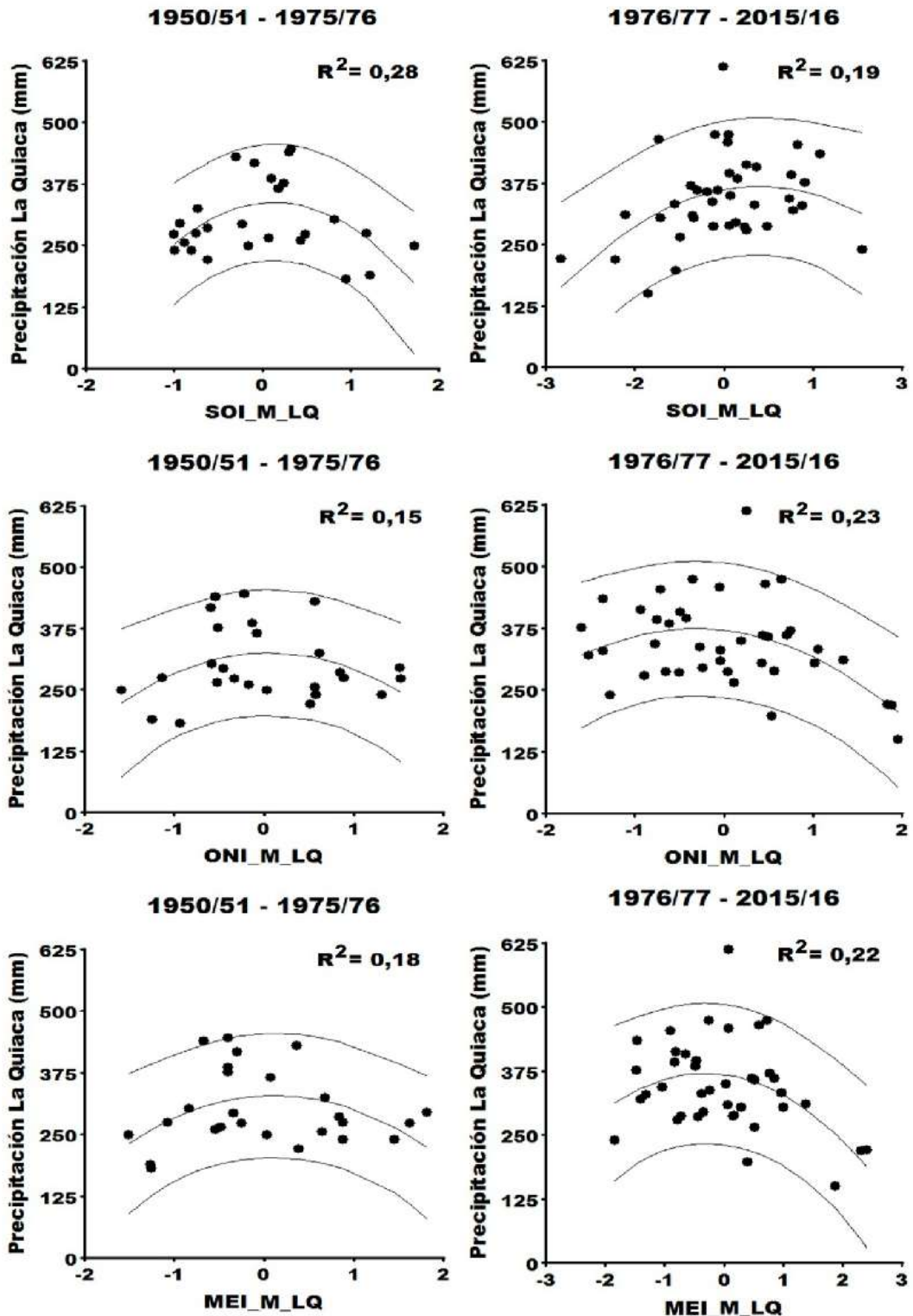


Figura 5.1. Precipitación acumulada O-A en La Quiaca en función de los índices SOI_M_LQ, ONI_M_LQ y MEI_M_LQ. Regresiones polinómicas de orden 2 y sus bandas de predicción de 90% para los períodos 1950/51 – 1975/76 y 1976/77 - 2015/16. Se indica en cada caso el coeficiente de determinación. Fuente: Barrera y Maggi (2018).

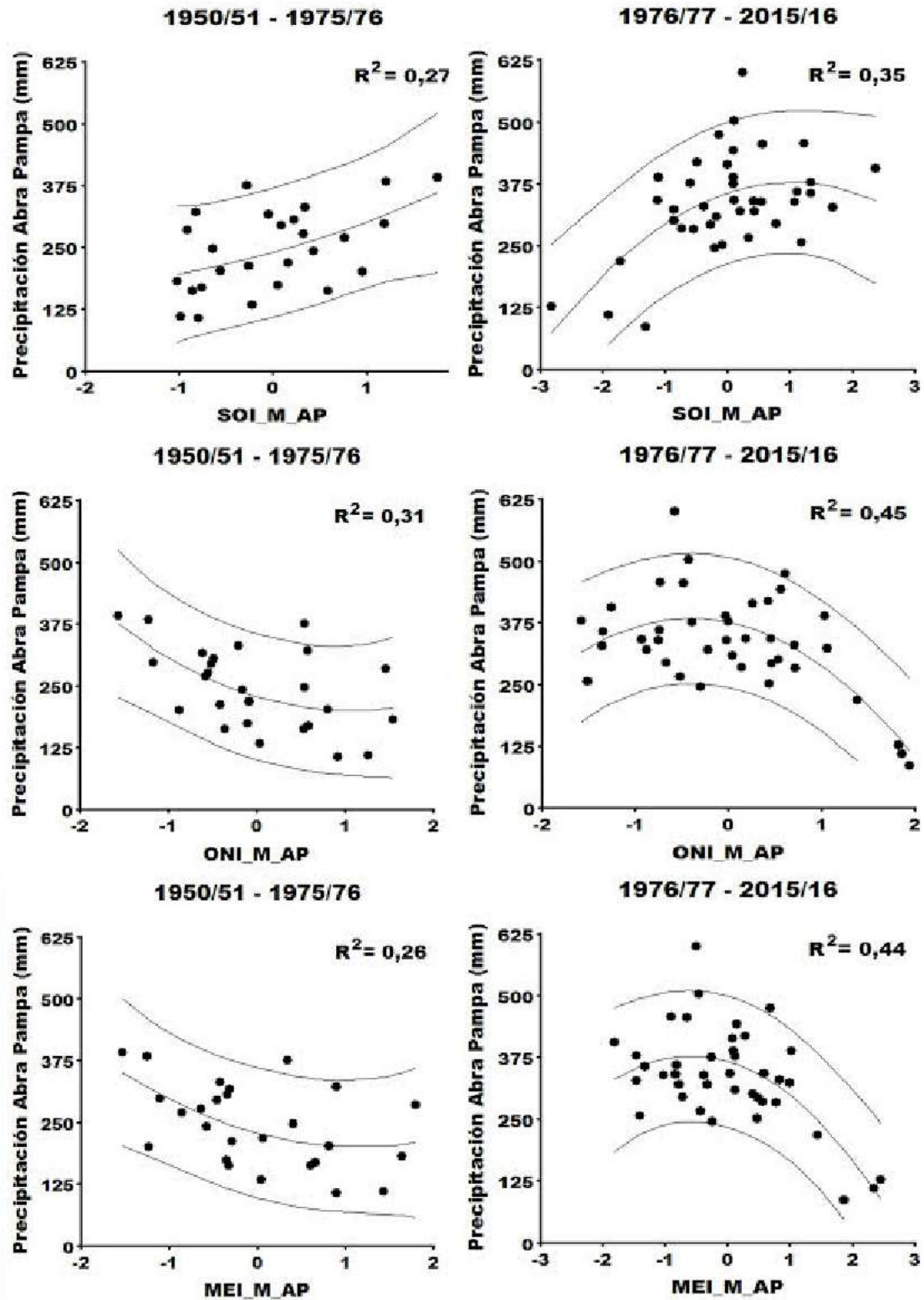


Figura 5.2. Precipitación acumulada O-A en Abra Pampa en función de los índices SOI_M_AP, ONI_M_AP y MEI_M_AP. Regresiones polinómicas de orden 2 y sus bandas de predicción de 90% para los períodos 1950/51 – 1975/76 y 1976/77 - 2015/16. Se indica en cada caso el coeficiente de determinación. Fuente: Barrera y Maggi (2018).

Se observa en la Figura 5.1 que la precipitación media de La Quiaca en fase NE, en general, es levemente mayor que en fase NA en ambos bloques. En cambio, en Abra Pampa (Figura 5.2) en el Bloque 1, antes de la TCP, la precipitación media en fase NE es menor que en fase NA, y esta relación se revierte en el Bloque 2. Ello se debe a un aumento relativo de la precipitación mucho mayor en la fase NE.

Es también de destacar que en Abra Pampa el R^2 es relativamente alto en los dos bloques para ambos índices (entre 0,26 y 0,45), mientras que en La Quiaca el R^2 es comparativamente menor, especialmente en el Bloque 1 en el que es igual a 0,15 para el índice ONI_M_LQ y 0,18 para el MEI_M_LQ.

Se observa asimismo que los coeficientes de determinación aumentan notablemente a partir de la TCP para La Quiaca y Abra Pampa, indicando un mejor ajuste regresivo. Esta tendencia sigue en aumento, ya que en los últimos 20 años analizados el coeficiente de determinación aumenta notablemente para ambas localidades en el índice ONI_M_AP el R^2 es 0,67. (Figura 5.3)

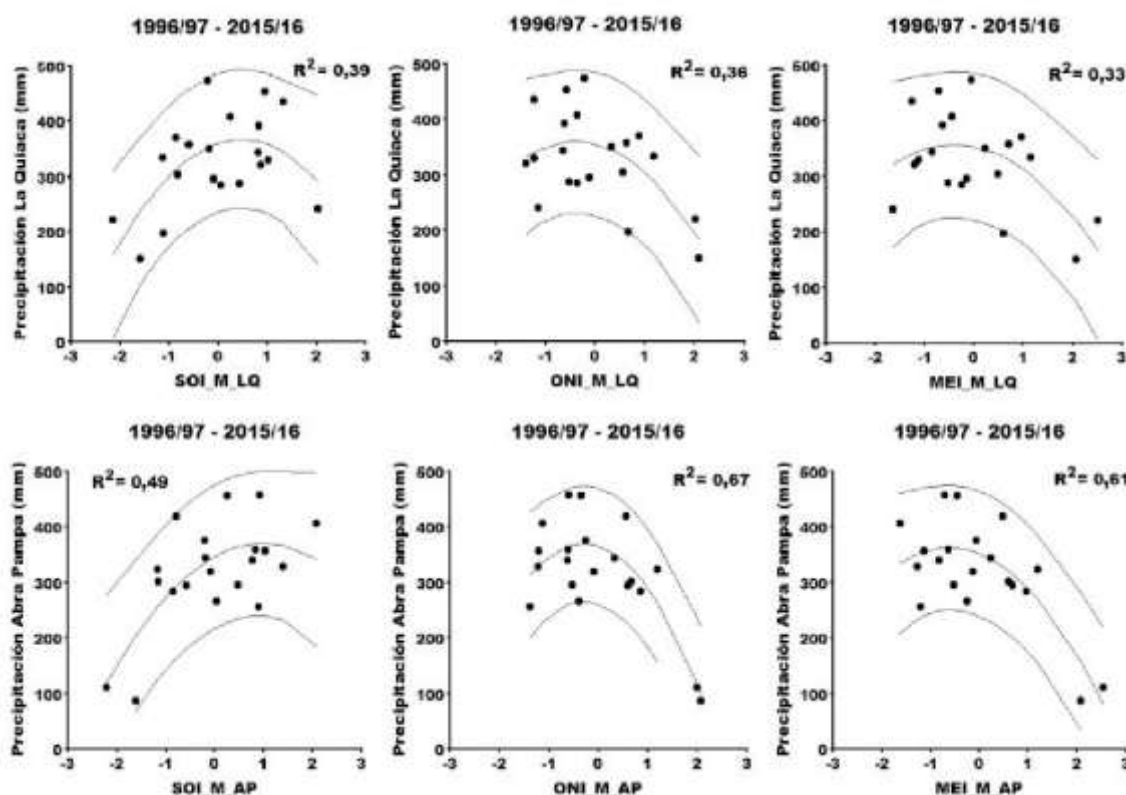


Figura 5.3: Precipitación acumulada O-A en La Quiaca y Abra Pampa, en función de los índices SOI_M, ONI_M y MEI_M obtenidos para cada localidad. Regresiones polinómicas de orden 2 y sus bandas de predicción de 90% para el período 1996/97 – 2015/16. Se indica en cada caso el coeficiente de determinación. Fuente: Barrera y Maggi (2018).

También se obtuvieron descriptores estadísticos de la precipitación acumulada Octubre-Abril en La Quiaca y Abra Pampa, agrupada por fase NE, NA y NO. Las sub-series analizadas, de distinta longitud, conforman el Bloque 1 (26 veranos antes de la TCP) y el Bloque 2 (40 veranos a partir de la TCP). Los resultados se exhiben en la Tabla 5.2.

Al separar, para cada bloque y localidad, por fases NE, NO y NA, vemos que para todas ellas la media es superior en el Bloque 2, revelando un incremento generalizado de la precipitación. Sin embargo, los aumentos relativos son distintos: en La Quiaca el mayor aumento se da en la fase NA seguida por la fase NE, mientras que en Abra Pampa el mayor aumento ocurre en fase NE, seguido por la fase NO. Es de destacar que algunos de estos grupos contienen solo 7 casos, por lo cual estos resultados deben tomarse como preliminares.

En las fases NO se observan menores valores en la precipitación media con respecto a las fases NA y NE, en ambas localidades, antes y a partir de la TCP; las diferencias relativas al comparar los montos en fase NO con los hallados en las fases NA y NE son en general importantes. Este resultado está en armonía con lo hallado por otros autores para otras subregiones del Altiplano, que informan menor precipitación en el semestre cálido durante los eventos NO (Aceituno y Montecinos, 1993; Vuille, 1999; Vuille et al., 2000; Garreaud y Aceituno, 2001; Ronchail y Gallaire, 2006). Maggi y otros (2010) encontraron una disminución de la extensión de la superficie de la laguna de Pozuelos, situada entre Abra Pampa y La Quiaca, durante los veranos en fase NO ocurridos en el período de 1978 a 2003. Dicha superficie funciona como un metadato de la precipitación.

La precipitación media de La Quiaca en fase NE es levemente mayor que en fase NA. En cambio, en Abra Pampa, en el Bloque 1 la precipitación media en fase NE es menor que en fase NA, revirtiendo la relación en el Bloque 2. Ello se debe a un aumento relativo de la precipitación mucho mayor en la fase NE.

En La Quiaca la fase NE aumenta su variabilidad—medida por el CV— al pasar del Bloque 1 al 2. Por el contrario, en Abra Pampa la variabilidad en esta fase disminuye en forma importante al pasar del Bloque 1 al 2. En el capítulo 4 se presenta una hipótesis sobre los mecanismos que generan precipitación en La Quiaca, que podría explicar esta diferencia llamativa entre ambas localidades, las cuales son muy cercanas y están a similar altitud.

Además, se observa en la Tabla 5.2. que al discriminar por fases del ENSO, en ambas localidades a partir de la TCP (bloque 2) se reduce sensiblemente la variabilidad de la precipitación O-A en los eventos NA. Asimismo, a partir de la TCP aumenta la variabilidad de la precipitación en las fases NO.

Los casos en fase NA y NO fueron sólo siete en el Bloque 1 debido a la ya mencionada corta longitud de la sub-serie que lo conforma. Los Resultados para estos casos deben tomarse sólo como provisionarios, y **Figuran** en la Tabla 5.2. en negrita a fin de resaltarlos.

Tabla 5.2. Descriptores estadísticos de la precipitación acumulada O-A (mm) en La Quiaca y Abra Pampa, agrupada por fases Niña, Neutra y Niño. Serie 1950/51 – 2015/16 dividida en Bloques 1 y 2: antes y a partir de la TCP. Se indican en negrita los grupos con solo 7 casos.

LA QUIACA

BLOQUE	FASE	N	Media	C.V.	Mín.	Máx.	B2/B1
1	Niña	7	293	35	182	439	1,20
1	Neutro	12	318	24	220	445	1,15
1	Niño	7	276	11	240	324	1,13
2	Niña	11	351	19	239	453	
2	Neutro	16	365	25	264	612	
2	Niño	13	312	31	150	474	

ABRA PAMPA

BLOQUE	FASE	N	Media	C.V.	Mín.	Máx.	B2/B1
1	Niña	7	305	22	201	392	1,14
1	Neutro	12	238	32	133	375	1,56
1	Niño	7	196	42	107	321	1,44
2	Niña	11	349	15	256	456	
2	Neutro	16	370	25	245	600	
2	Niño	13	282	43	85	474	

Fuente: Barrera y Maggi (2018).

5.3.3. Análisis de la serie temporal de precipitación para Abra Pampa.

Para el período 1950/1951 a 2015/2016 se efectuó la clasificación por fases NE, NA y NO de los períodos monzónicos O-A. Los resultados para Abra Pampa se muestran en la Tabla 5.3. La serie con los casos son ordenados cronológicamente.

Vemos que valores absolutos del índice ONI-M iguales a 0,57 separan eficientemente y con muy pocas excepciones los períodos monzónicos, o casos, en fase NO, NE y NA, lo cual se verifica también para LQ. Los 18 casos con dicho índice por debajo de -0,57 son en fase NA, y por encima de 0,57 los 16 casos registrados ocurrieron en fase NO.

Asimismo, en la serie total disponible 1935/36 a 2015/16 de Abra Pampa se verifica que los 16 máximos de precipitación O-A se ubican después del salto climático de 1970/71; se resaltan en color celeste en la Tabla 5.3. El menor de ellos es 375 mm en 2012/13, que se iguala en 1953/54, pero en el primer período nombrado la precipitación durante julio a junio supera al segundo por 2,8mm.

Tabla 5.3. Abra Pampa. Discriminación por fases Neutra (NE), Niña (NA) y Niño (NO) para el período octubre-abril (O-A). Los casos se muestran en orden cronológico. Se muestra asimismo la precipitación O-A en Abra Pampa. La serie cubre el lapso 1950/51 a 2015/16. Los veranos a partir de la TCP están en negrita. Los 16 mínimos de precipitación están en color rojo oscuro, con los 9 menores en negrita. Los 16 máximos de precipitación están en color celeste, con los 9 mayores en negrita.

Período	Índice	Fase	AP	Período	Índice	Fase	AP
Oct-Abr	ONI-M	ENOS	(mm)	Oct-Abr	ONI-M	ENOS	(mm)
1950 / 51	-0,62	NA	269	1983 / 84	-0,49	NE	600
1951 / 52	0,50	NE	163	1984 / 85	-0,85	NA	341
1952 / 53	0,50	NE	246	1985 / 86	-0,35	NE	502
1953 / 54	0,50	NE	375	1986 / 87	1,11	NO	387
1954 / 55	-0,59	NA	276	1987 / 88	0,68	NO	474
1955 / 56	-0,92	NA	201	1988 / 89	-1,50	NA	379
1956 / 57	-0,14	NE	173	1989 / 90	0,08	NE	377
1957 / 58	1,50	NO	182	1990 / 91	0,34	NE	413
1958 / 59	0,53	NO	321	1991 / 92	1,46	NO	219
1959 / 60	-0,12	NE	218	1992 / 93	0,22	NE	285
1960 / 61	-0,01	NE	133	1993 / 94	0,12	NE	308
1961 / 62	-0,20	NE	242	1994 / 95	0,79	NO	329
1962 / 63	-0,25	NE	331	1995 / 96	-0,80	NA	319
1963 / 64	0,76	NO	202	1996 / 97	-0,41	NE	455
1964 / 65	-0,46	NE	211	1997 / 98	1,94	NO	110
1965 / 66	1,22	NO	109	1998 / 99	-1,27	NA	357
1966 / 67	-0,40	NE	163	1999 / 00	-1,44	NA	256
1967 / 68	-0,66	NA	316	2000 / 01	-0,66	NA	359
1968 / 69	0,87	NO	107	2001 / 02	-0,14	NE	319
1969 / 70	0,55	NO	169	2002 / 03	0,79	NO	283
1970 / 71	-1,21	NA	298	2003 / 04	0,27	NE	343
1971 / 72	-0,53	NE	305	2004 / 05	0,61	NO	300
1972 / 73	1,42	NO	285	2005 / 06	-0,59	NA	295
1973 / 74	-1,61	NA	392	2006 / 07	0,54	NE	293
1974 / 75	-0,55	NE	294	2007 / 08	-1,28	NA	328
1975 / 76	-1,27	NA	384	2008 / 09	-0,65	NA	456
1976 / 77	0,64	NO	443	2009 / 10	1,14	NO	322
1977 / 78	0,53	NO	342	2010 / 11	-1,18	NA	406
1978 / 79	0,05	NE	388	2011 / 12	-0,67	NA	339
1979 / 80	0,52	NO	251	2012 / 13	-0,32	NE	375
1980 / 81	-0,22	NE	245	2013 / 14	-0,44	NE	266
1981 / 82	0,06	NE	339	2014 / 15	0,50	NE	418
1982 / 83	1,91	NO	128	2015 / 16	2,02	NO	85

Fuente: Barrera y Maggi (2018).

5.3.4. Análisis de la serie temporal de precipitación para La Quiaca

Se repitieron las variables de la sección anterior para La Quiaca (Tabla 5.4) en el período 1950/51- 2015/2016. Los casos están ordenados cronológicamente.

Se pueden apreciar en dicha Tabla las singularidades de la precipitación en La Quiaca. En la serie 1935/1936 a 2015/2016 de esta localidad se verifica que los máximos de precipitación O-A se ubican en general a partir del salto climático coincidente con la TCP, y los 6 mayores pertenecen a dicho período, que se incluye en esta Tabla. De estos 6 máximos, se observa que 3 de ellos ocurrieron en fase NE, 2 en NO y 1 en NA. De Los 15 mayores valores ocurridos en el período 1950/51 – 2015/16, 11 se ubican después de la TCP.

En la Tabla 5.4., se calcularon 66 períodos O-A (1950/51 – 2015/16). De los 20 casos con menor precipitación, 14 de ellos se registraron antes de la TCP (el 53,8% de los 26 casos de la sub-muestra). Los 6 casos restantes se ubican a partir de la TCP, es decir, el 15% sobre 40 casos.

Si restringimos el análisis a los casos con menor precipitación, 5 de ellos son anteriores y 5 posteriores a la TCP, lo que contrasta con lo observado en Abra Pampa (7 antes de la TCP).

Los párrafos están compuestos por más de una oración aca hay oraciones sueltas que están entrelazando un pensamiento o razonamiento a partir del análisis. Juntar.

La posible causa de este comportamiento, no esperado, que ya se ha expuesto en el capítulo 4.

Si promediamos los valores de precipitación O-A de AP y LQ, vemos que en esta nueva serie los máximos ocurren mayoritariamente en fase NE.

Asimismo, se verifica que a partir de la TCP ocurren los eventos NO estivales más intensos, como lo indica el ordenamiento según los índices ONI_M_AP para Abra Pampa (Tabla 4.3) y ONI_M_LQ para La Quiaca (Tabla 4.4). Ambas tablas están en el capítulo 4.

En el período monzónico 2015/16 –con máximos en los índices ONI_M_AP y ONI_M_LQ que señalan a la fase NO más intensa- se verifican los mínimos de precipitación de ambas series, con 85 mm y 150 mm respectivamente (ver Tablas 4.3 y 4.4). En consonancia con esto, al visitar la zona en marzo de 2016 los pobladores comentaron que la laguna de Pozuelos tenía un volumen muy bajo de agua.

Se aprecia además en las Tablas 5.3 y 5.4 que, de los montos mayores de precipitación, 14 sobre 16 y 11 sobre 15 de ellos se registraron a partir de la TCP. Este resultado es coincidente con lo observado por Agosta y Compagnucci (2008) en la precipitación de la región centro-oeste de Argentina, al sur de La Puna, donde los ciclos alternantes húmedo/seco de aproximadamente 9 años de duración cada uno finalizan tras la transición climática de 1976/77, y como resultado se tiene un evento húmedo prolongado durante 30 años, que comenzó en 1973 según estos autores.

Tabla 5.4. La Quiaca. Discriminación por fases Neutra (NE), Niña (NA) y Niño (NO) para el período octubre-abril (O-A). Los casos se muestran en orden cronológico. Se muestra asimismo la precipitación O-A en La Quiaca. La serie cubre el lapso 1950/51 a 2015/16. Los veranos a partir de la TCP están en negrita. Los 16 mínimos de precipitación están en color rojo oscuro, con los 9 menores en negrita. Los 16 máximos de precipitación están en color celeste, con los 9 mayores en negrita.

Período	Índice	Fase	LQ	Período	Índice	Fase	LQ
Oct-Abr	ONI-M	ENOS	(mm)	Oct-Abr	ONI-M	ENOS	(mm)
1950 / 51	-0,63	NA	303	1983 / 84	-0,52	NE	385
1951 / 52	0,52	NE	256	1984 / 85	-0,85	NA	412
1952 / 53	0,47	NE	220	1985 / 86	-0,34	NE	394
1953 / 54	0,52	NE	431	1986 / 87	1,10	NO	304
1954 / 55	-0,59	NA	439	1987 / 88	0,74	NO	474
1955 / 56	-0,98	NA	182	1988 / 89	-1,51	NA	376
1956 / 57	-0,17	NE	385	1989 / 90	0,05	NE	308
1957 / 58	1,48	NO	272	1990 / 91	0,34	NE	612
1958 / 59	0,54	NO	240	1991 / 92	1,43	NO	310
1959 / 60	-0,12	NE	365	1992 / 93	0,19	NE	264
1960 / 61	-0,01	NE	248	1993 / 94	0,12	NE	287
1961 / 62	-0,21	NE	260	1994 / 95	0,79	NO	361
1962 / 63	-0,26	NE	445	1995 / 96	-0,81	NA	279
1963 / 64	0,80	NO	285	1996 / 97	-0,41	NE	407
1964 / 65	-0,49	NE	293	1997 / 98	1,97	NO	219
1965 / 66	1,27	NO	240	1998 / 99	-1,27	NA	329
1966 / 67	-0,38	NE	272	1999 / 00	-1,43	NA	320
1967 / 68	-0,63	NA	417	2000 / 01	-0,67	NA	392
1968 / 69	0,85	NO	274	2001 / 02	-0,16	NE	295
1969 / 70	0,57	NO	324	2002 / 03	0,83	NO	370
1970 / 71	-1,18	NA	274	2003 / 04	0,28	NE	350
1971 / 72	-0,55	NE	376	2004 / 05	0,62	NO	197
1972 / 73	1,47	NO	294	2005 / 06	-0,57	NA	287
1973 / 74	-1,63	NA	249	2006 / 07	0,58	NE	358
1974 / 75	-0,56	NE	264	2007 / 08	-1,27	NA	435
1975 / 76	-1,29	NA	189	2008 / 09	-0,63	NA	453
1976 / 77	0,66	NO	288	2009 / 10	1,14	NO	332
1977 / 78	0,55	NO	465	2010 / 11	-1,19	NA	239
1978 / 79	0,04	NE	458	2011 / 12	-0,69	NA	343
1979 / 80	0,52	NO	360	2012 / 13	-0,27	NE	474
1980 / 81	-0,19	NE	337	2013 / 14	-0,42	NE	284
1981 / 82	0,05	NE	330	2014 / 15	0,51	NE	303
1982 / 83	1,92	NO	220	2015 / 16	2,04	NO	150

Fuente y elaboración: Maggi y Barrera.

Los 9 valores mayores (en celeste y negrita) se ubican a partir de dicha transición (TCP). De estos, 5 ocurrieron en fase NE, 2 en NA y 2 en NO.

5.4. Conclusiones

Se analizaron la precipitación O-A en La Quiaca y Abra Pampa separando por bloques 1 y 2 (antes y a partir de la TCP) y por fases NE, NO y NA. Las conclusiones deben tomarse como preliminares, dado el pequeño número de casos disponibles, en especial antes de la TCP. Verificamos que, en ambas localidades, para las tres fases en el Bloque 2 las medias aumentan y se reduce sensiblemente la variabilidad de la precipitación O-A en los eventos NA. En el Bloque 2, dicha variabilidad es mayor en la fase NO que en NA y NE.

En ambas localidades, y tanto en el Bloque 1 como a partir de la TCP, a pesar de que la mayoría de los máximos de precipitación ocurren en fase NE, la media de la precipitación en esta fase es similar a la de la fase NA, a causa de que esta última presenta menor variabilidad.

En Abra Pampa, localidad representativa de la Puna Semiárida, la variabilidad en fase NE disminuye en forma importante al pasar del Bloque 1 al 2.

Se ha constatado que, tanto en La Quiaca como en Abra Pampa, los índices ONI_M y MEI_M explican porcentajes importantes de la variabilidad de la precipitación estival, evidenciando la influencia del fenómeno ENSO, la cual es mayor a partir de la TCP.

Se verifico que la precipitación de AP está más relacionada al signo e intensidad del fenómeno ENSO que la de LQ, y esta mayor dependencia se intensifica a partir de la TCP. Asimismo, en el período 1996/97 – 2015/16 la influencia del fenómeno ENSO sobre la precipitación O-A en estas localidades altiplánicas es significativamente mayor que en el período 1976/77 – 1995/96.

Capítulo 6

Capítulo 6. Identificación de relaciones entre el fenómeno ENOS, la precipitación y los cambios en el ambiente. Cuantificación de las variaciones de la superficie de la laguna de Pozuelos y de la cobertura vegetal en distintas comunidades herbáceas representativas.

6.1. Las lagunas centrales de Sudamérica, el ENOS y la variación de la superficie de la laguna Pozuelos.

6.1.1. Introducción Lagunas

Como se ha mostrado en el capítulo 1, las lluvias del período ~~octubre~~ están asociadas al régimen monzónico y las consecuentes variaciones de temperatura, vientos y humedad en la región tropical de América del Sur.

Las lluvias están asociadas también a lo que se explicó en el capítulo 4 y 5. Tendrías que ponerlo aquí sino queda desenganchado. por lo menos en lo que está escrito.

Debido a la presencia de la baja del Chaco (BCH) y la baja del Noroeste Argentino (BNOA), el flujo de aire cálido y húmedo proveniente de la región amazónica es canalizado en la tropósfera baja entre las faldas orientales de la cordillera de los Andes y la meseta central de Brasil, confinado a niveles inferiores a los 700 hPa (aproximadamente 3000 m de altitud). La circulación ciclónica alrededor de la BNOA y la BCH aporta aire húmedo a la región al este y sudeste de la Puna jujeña.

Por otra parte, en conexión con la AB (Alta de Bolivia) aparecen, bajo ciertas circunstancias, vientos del este en la tropósfera media y alta sobre los Andes Centrales, que favorecen el transporte hacia el Altiplano del aire húmedo continental situado al este de aquel, el cual es necesario para el desarrollo de la convección profunda sobre el Altiplano (Garreaud y Seluchi, 2001; Garreaud y otros, 2009).

Punto

Por lo tanto, es interesante evaluar el estado hídrico en zonas al norte y al este de la Puna, ya que desde dichas zonas proviene el aire húmedo que, bajo ciertas condiciones dinámicas, es transportado hacia la Puna y provee la humedad necesaria para que se produzcan la convección y las lluvias. Es por esta razón, que en este capítulo se intentó comprobar si el estado hídrico del período lluvioso anterior en zonas al norte y al este de la Puna tiene una incidencia sobre la precipitación observada en la Puna. De ser así, se obtendría una herramienta predictiva importante. Esta eventual asociación puede evaluarse a partir de datos pluviométricos, pero estos son espacialmente escasos y por ello no reflejan bien la precipitación ocurrida a nivel regional; además, pertenecen a administraciones de otros países, lo que puede dificultar su inmediata disponibilidad. Por ello se decidió buscar esta posible relación también mediante la determinación de las superficies de los espejos de agua en dichas zonas y los de la zona de la Puna. Dichas superficies muchas veces son indicativas de los volúmenes de los respectivos cuerpos de agua y podrían estar relacionados con la precipitación ocurrida, y pueden ser estimables mediante teledetección satelital.

Asimismo, cabe esperar, como relación causa-efecto, que las variaciones interanuales de la precipitación en la Puna estén acompañadas por sendas

variaciones en el mismo sentido –aumento o disminución- de las superficies de las lagunas y de la cobertura vegetal en la Puna. Examinamos también en este capítulo los grados de asociación entre la precipitación y estas dos variables.

En la Puna la disponibilidad de agua es el principal limitante de la ganadería, y modifica la carga máxima posible con altas variaciones interanuales según las lluvias en cada período de lluvias, lo cual incide sobre la disponibilidad de agua para el ganado animal y forraje. La determinación de posibles grados de asociación entre la precipitación en otras regiones y las de la Puna jujeña, y la incidencia de la anomalía de fase del fenómeno ENOS (El Niño - Oscilación Sur), permitiría anticipar a los productores la carga animal adecuada de acuerdo con la disponibilidad de forraje durante el ciclo.

En todos los capítulos se ha introducido la decisión de también al capítulo 1...tal vez tendrías que decirlo una sola vez en la introducción y hacer referencia a los capítulos anteriores sin nombrarlos...el que vienen leyendo sabe de que hablas.

Ecología

Adicionalmente a los estudios sobre precipitación en la Puna expuestos en los capítulos 2, 3, 4 y 5, se ha formulado la hipótesis de un posible mecanismo que influya en el monto de precipitación en la Puna, y por ende en las superficies lagunares, en particular la laguna de Pozuelos que es cercana a la localidad de Abra Pampa.

Esta investigación supone que la precipitación en la Puna podría estar influida por el estado hídrico de ciertas zonas centrales de Sudamérica en el período monzónico antecedente, al cual llamamos “estado hídrico precedente”. Esta presunción, que a priori entendemos que es muy poco probable, la hemos explorado con el ánimo de encontrar una herramienta predictiva de la precipitación en la Puna.

De acuerdo con esta hipótesis, la precipitación acumulada en el período monzónico antecedente en alguna de dichas zonas, incidiría en las lluvias en la Puna en el período monzónico siguiente, y a su vez en el volumen de los cuerpos de agua. El aumento en el volumen de los cuerpos causados por la precipitación en la zona se traduce en un aumento en las respectivas superficies lagunares. Estas superficies pueden estimarse mediante teledetección satelital, y su evolución temporal acompaña a la de lluvia. En cierta forma pueden considerarse metadatos de la precipitación acumulada ocurrida en el período monzónico. Para ello, se estudió si el volumen hídrico disponible el año anterior en las zonas al norte y al este de la Puna tiene algún grado de influencia sobre la precipitación en la Puna jujeña. De existir esta asociación, su efecto sería adicional al del ENOS.

Es por ello que en el presente capítulo se investigó la posible relación entre la extensión de la superficie de la laguna de los Pozuelos en la Puna, y algunas lagunas de ciertas zonas centrales de Sudamérica. Se efectuó la comparación para un año de desfase (estado hídrico precedente). Se consideró como variable de estudio a la precipitación acumulada entre julio del año anterior y junio del año actual a fin de abarcar 12 meses, incluida toda la estación lluviosa en el mismo período, que típicamente va de octubre a abril en la Puna, pero es más extendida en otras regiones a estudiarse. Para conocer estas posibles relaciones se analizaron los datos de precipitación en la Puna, y se hizo la comparación con las superficies ocupadas por

una serie de lagunas ubicadas en ciertas zonas de interés en el mismo período y el inmediato anterior.

6.2.1.1. Precipitación y superficies lagunares en regiones centrales de Sudamérica

Se eligieron las lagunas de cuatro regiones, a saber, los Andes Peruanos, el Pantanal y la Selva Tropical Amazónica en la zona centro-este de la cuenca (en Brasil) y al noroeste de esta en territorio de Perú.

Asimismo, se efectuó la discriminación de los casos disponibles según la fase del fenómeno ENOS para el período estudiado, a fin de verificar que los resultados obtenidos en el capítulo 4 se reflejan también en las relaciones entre la fase del ENOS y las superficies lagunares.

Se utilizaron las imágenes satelitales Landsat en sus distintos sensores TM, ETM+ y OLI obtenidas de Google Earth Engine, para el periodo 1993-2015, en el sector entre las latitudes 11° S y 23° S y entre las longitudes 56° O y 72° O. Se estimaron las superficies de las lagunas ubicadas en dicho sector.

Cada superficie lagunar fue medida preferentemente hacia el final del periodo seco en la Puna, momento en que los aportes hídricos a los cuerpos de agua en todas las regiones estudiadas son mínimos, y por lo tanto existe mayor estabilidad, sin variaciones relevantes de las superficies. Se tomó al mes de agosto como el fin de dicho período, ya que en Septiembre ocurre muy poca (o nula) acumulación de agua proveniente de lluvia en las lagunas de la Puna, como se muestra en los resultados del punto 6.2.2.

Las imágenes satelitales Landsat fueron analizadas usando la aplicación Google Earth Engine. Mediante una programación desarrollada en lenguaje Java se efectuó el análisis de los distintos espectros de radiación de las imágenes. Ello permitió diferenciar, clasificar y medir las superficies de agua (Figura 6.1).

Finalmente, se buscó, en los casos donde fuera posible, espejos de agua que tuvieran relativamente cerca estaciones meteorológicas que suministraran registros pluviométricos, de manera de poder efectuar una asociación entre la superficie del espejo de agua de dichas lagunas y las lluvias locales, como asimismo contar con datos de precipitación en el lugar como parámetro a relacionar con las lluvias en la zona de la Puna jujeña.

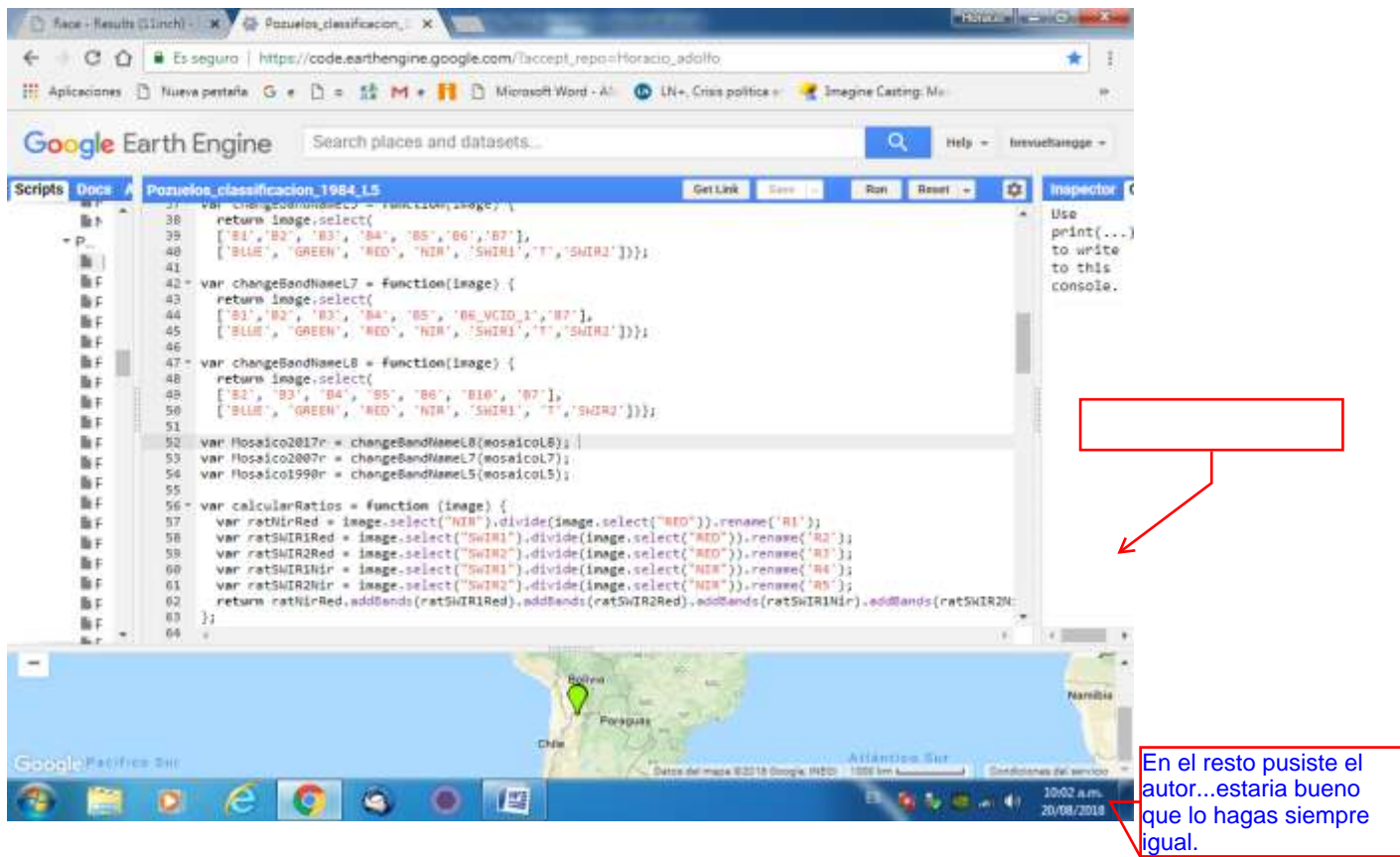


Figura 6.1. Uso de la aplicación Google Earth Engine. Fuente y elaboración: Maggi.

Se eligieron aquellas lagunas de las cuales se dispusiera de imágenes frecuentes y de baja nubosidad. Se determinaron las superficies de agua de las distintas lagunas y se compararon con las precipitaciones en la región correspondiente a cada una de ellas, a fin de verificar la dependencia y respuesta de la superficie de cada laguna a las lluvias, como fuente de alimentación.

Tabla 6.1. Ubicación de los cuerpos de agua elegidos en Perú, Brasil y Bolivia.

ESPEJO DE AGUA	REGIÓN	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	ALTURA MSNM
Lago Sandoval	Amazonas Oeste	12° 36´	69° 02´	224 m.
Laguna Sibinacocha	Andes Perú	13° 52´	71° 01´	4879 m.
Laguna Marfil	Amazonas Centro-Este	15° 30´	60° 15´	216 m.
Laguna Negra	Pantanal	idem anterior...	° 31´	87 m.

Fuente y elaboración: Maggi.

Se escogieron las siguientes estaciones meteorológicas con registros pluviométricos, situadas entre las nacientes del Amazonas y el Pantanal. Tabla 6.1.

En el siguiente mapa se puede observar ubicaciones de las lagunas y estaciones meteorológicas de referencia en cada caso, la que se efectuaron sobre la base de un desarrollo propio basado en las imágenes de Google Earth.

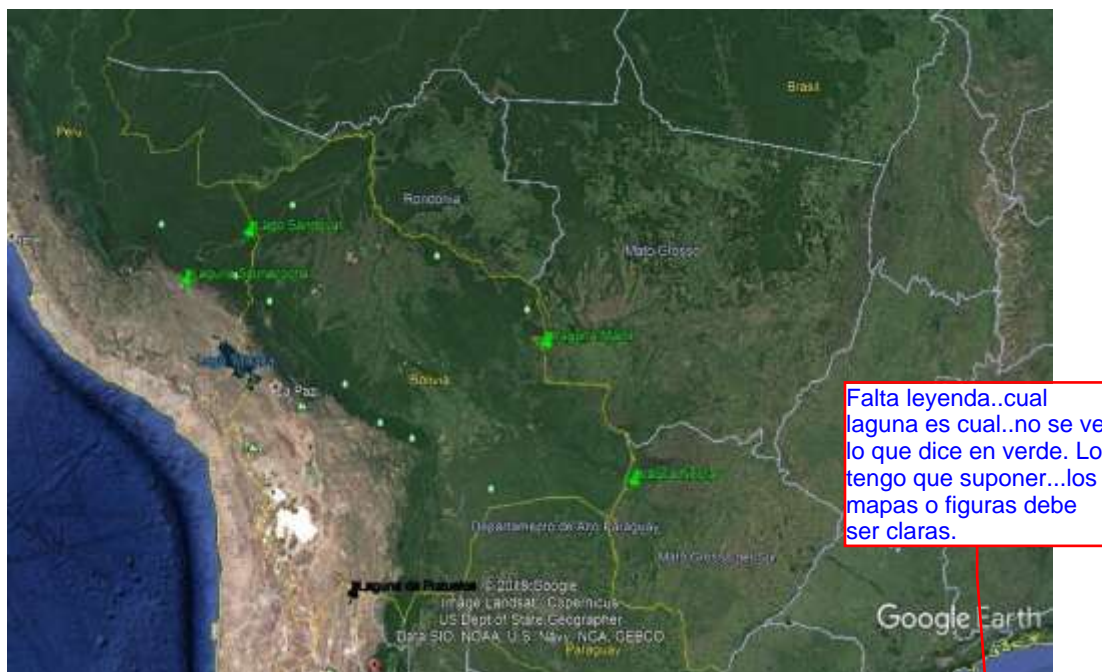


Figura 6.2. Localización relativa de los espejos de agua en estudio. Fuente: Google Earth. Elaboración: propia.

6.2.1.2. Posible relación entre la superficie de la laguna de Pozuelos y el estado hídrico precedente en ciertas zonas centrales de Sudamérica.

Se determinó si existe asociación entre las variaciones en las superficies de agua acumuladas de las cuatro zonas consideradas y las observadas en la laguna Pozuelos en Jujuy. Dicha asociación se evaluó entre años inmediatamente sucesivos, para evaluar un posible impacto de la humedad pre-existente en las regiones centrales de Sudamérica sobre las precipitaciones del año siguiente en la Puna.

Ya lo dijiste en introducción y metodología. Sacaría el párrafo

El Monumento Nacional Laguna de los Pozuelos se tomó como indicador de la precipitación en la Puna seca, ubicada en las coordenadas 22° 22' S y 66° O y aproximadamente 3670 m. de altura.



Falta localización en argentina y también escala, norte...

Figura 6.3. Laguna de los Pozuelos y estación experimental INTA Abra Pampa (con su estación meteorológica) distante 50.5 km. aproximadamente en línea recta. Fuente: Google Earth. Elaboración: propia.

Como se comentó en el capítulo 1, en -1976/1977, hubo una perturbación climática brusca en el sistema acoplado atmósfera-oceano (TCP), que conecta la temperatura de la superficie del Océano Pacífico con parámetros climáticos en muchas regiones del planeta. Para la región NOA, Barrera y Maggi (2018) mostraron el impacto de la TCP en la evolución del régimen de precipitaciones. En el estudio del presente capítulo, debido a la disponibilidad de imágenes Landsat TM, todas las mediciones de superficies lagunares efectuadas sobre Pozuelos y las cuatro regiones seleccionadas corresponden a fechas posteriores a la TCP.

Si..y lo reforzas en al tesis con lo cual yo sacaría de aquí las dos primeras oraciones.

6.1.3. Resultados

6.1.3.1. La asociación entre las superficies lagunares en las cuatro regiones seleccionadas y las respectivas mediciones de precipitación.

Se compara cada una de las lagunas preseleccionadas con las precipitaciones de las estaciones meteorológicas más cercanas.

A) Región del Pantanal: Laguna Negra y precipitaciones en Estación Corumbá
 En la región del Pantanal no hay una asociación relevante entre la superficie de la laguna (Lagoa Negra) y las precipitaciones registradas en la estación meteorológica del INMET (Instituto Nacional de Meteorología) de Brasil ubicada en la localidad de Corumbá (19° 01'S - 57° 40'O) muy cercana a dicha laguna (21km). Las lluvias medidas no responden a lo esperado para esa zona, pues no muestran mayores precipitaciones en períodos de la fase EN.

B) Región amazónica centro-este: Laguna Marfil y Precipitación en Estaciones de la región: San Francisco y San Ignacio de Velazco.

Se estudió la evolución de la superficie de la laguna Marfil. Si bien no existe ninguna estación meteorológica muy cerca de dicha laguna, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia (SENAMHI), tiene dos estaciones localizadas a distancia: San Ignacio de Velazco (16° 22' 54"S - 60° 57' 43"O) y San Francisco (15° 20'S - 61° 25'O), a priori demasiado distantes para poder comprobar una asociación en forma precisa (aproximadamente 125 km). No obstante, al ser los únicos datos puntuales de estaciones meteorológicas disponibles, se decidió evaluar si existía dicha asociación.

Hacer un párrafo

Se verificó una correlación muy pobre ($R=0,38$; $R^2<0,15$) con las precipitaciones en la estación San Ignacio de Velazco. En cambio, pudo verificarse una alta correlación con la precipitación registrada en la estación San Francisco, tal como se muestra en Figura 6.4.

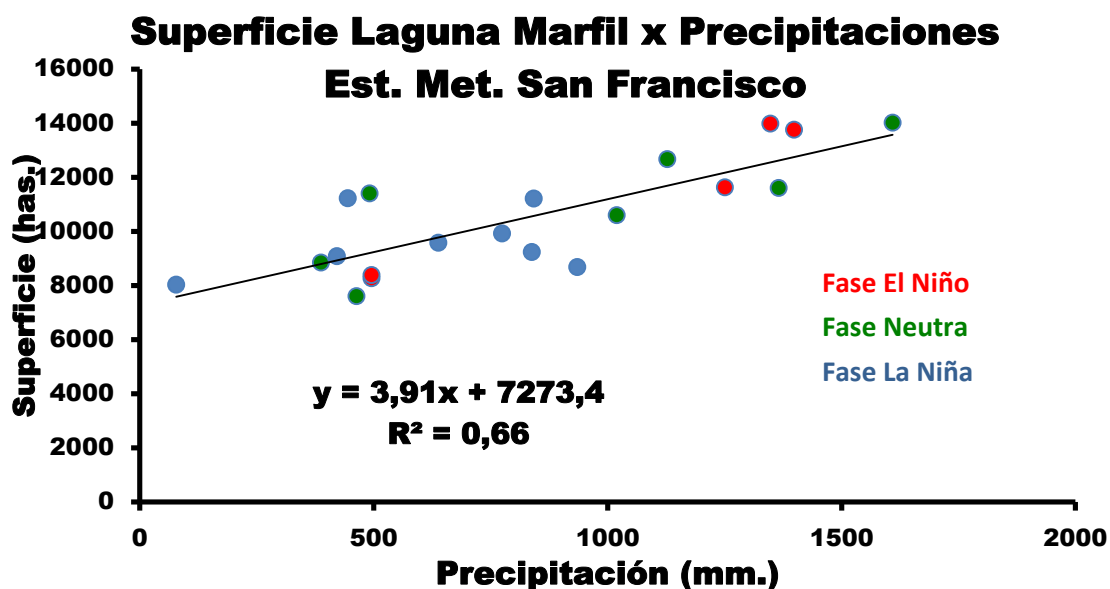


Figura 6.4. Superficie de la Laguna Marfil en función de las precipitaciones en la Estación Meteorológica San Francisco- Sta.Cruz - Bolivia (mm). Fuente: Elaboración propia.

La superficie responde a las precipitaciones ($R=0,81$; $R^2=0,66$) y al fenómeno ENOS al igual que en el este de Sudamérica: Durante la fase cálida (NO) en general (en 3 de las 4 lagunas relevadas) las lluvias son más abundantes que en períodos neutros; mientras que en años de fase fría (NA) las lluvias son más escasas. Lo contrario a lo que sucede en la Puna, como vimos en el capítulo 4. Los resultados con El ENOS se discuten en el punto 6.1.3.3.

C) Región Amazonas Peruano: Lago Sandoval y Precipitaciones en Estación Meteorológica de Puerto Maldonado

Se obtuvo una correlación relativamente alta ($R=0.62$; $R^2=0.38$) entre ambas según los valores suministrados por la estación de la referencia del Servicio de Meteorología e Hidrología de Perú y las superficies registradas desde las imágenes Landsat (Figura 6.5).

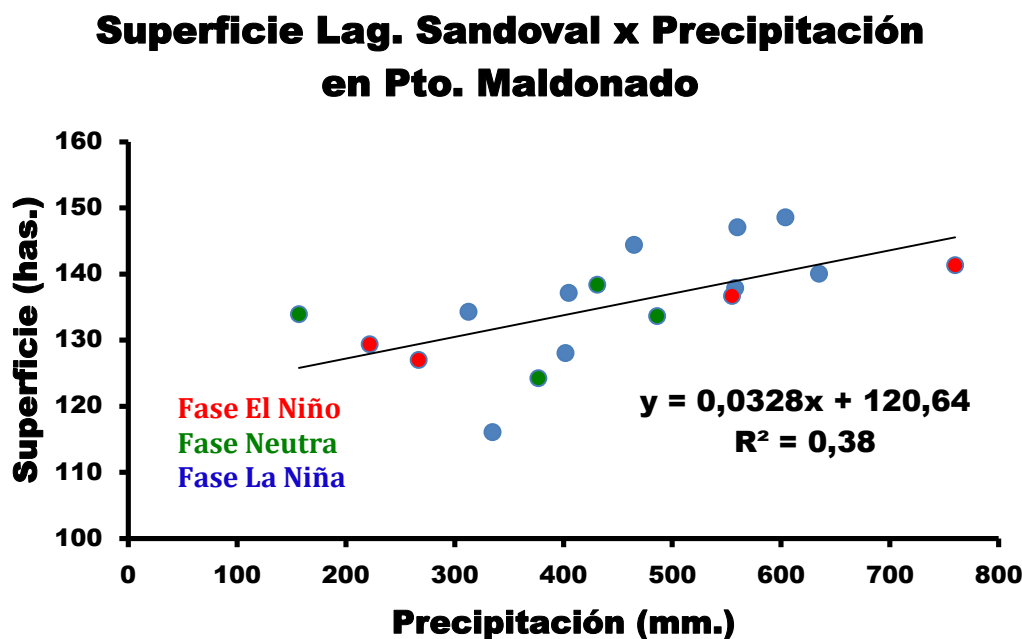


Figura 6.5. Superficie del Lago Sandoval en función de la precipitación en Puerto Maldonado. Fuente: Elaboración propia.

No lleva punto

D) Región Andes Peruanos: Laguna Sibinacocha y Precipitaciones en Estación Meteorológica de Puerto Maldonado.

Los valores registrados en la Laguna de referencia, ubicada a 4.879 m.s.n.m. debieron ser descartados dado que se observaron variaciones muy significativas, que solo tienen datos de los últimos 4 años y que además están en ubicaciones alejadas de la laguna. La Estación ubicada en la zona está en funcionamiento desde 2016. Para obtener una serie de datos completa habría que remitirse a las distintas estaciones ubicadas en Cuzco y alrededores, Perayoc y Granja Kayra que están a más de 100 km. de la Laguna.

6.1.3.2. La asociación entre las superficies lagunares y la precipitación en las zonas seleccionadas y la precipitación ocurrida en la Puna jujeña.

Se analizó el lapso 1993/94 – 2014/15 para el cual se dispuso de datos.

Dos de las cuatro lagunas analizadas (Laguna Marfil y Lago Sandoval) mostraron buena asociación con la precipitación registrada en estaciones meteorológicas cercanas.

Se comprueba que la superficie de la Laguna Negra (Pantanal) explica el 24% de la varianza de la precipitación en la Puna, con un coeficiente de correlación lineal negativo igual a $-0,49$, lo cual indica que cuando crece el Pantanal, tiende a llover menos en la Puna, y viceversa. Este resultado se obtuvo para el lapso 1999/00 – 2014/15, excepto 2002/03 en que no hubo datos suficientes. Tabla 6.2. El resto de las

lagunas no tendrían influencia en la Puna y muestra claramente que estas superficies lagunares, indicativas de la precipitación en esas zonas, no pueden usarse como elementos predictivos de las lluvias en la Puna en el período monzónico siguiente, ya que los coeficientes de determinación son nulos o casi nulos.

Tabla 6.2. Coeficientes de determinación entre superficies lagunares (ha), versus precipitación (mm) en la Puna, estimada como promedio ponderado con doble peso para Abra Pampa y simple peso para La Quiaca (AAQ) en el mismo período O-A y en el siguiente.

Superficie	Sandoval	Sibinacocha	Marfil	Lag. Negra
Igual período	0,09	0,00	0,05	0,24
AAQ siguiente	0,02	0,01	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Cuando se compara la precipitación en las estaciones meteorológicas de las lagunas con lo que ocurre en la Puna se comprueba que San Ignacio de Velazco (Matto Grosso) explica el 21% de la varianza de la precipitación en la Puna, con un coeficiente de correlación lineal negativo igual a -0,46, lo cual indica que cuando llueve más en el Matto Grosso tiende a llover menos en la Puna, y viceversa. Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Coeficientes de determinación entre precipitación (mm) en meteorológicas seleccionadas, versus precipitación (mm) en la Puna, estimada como promedio ponderado con doble peso para Abra Pampa y simple peso para La Quiaca (AAQ) en el mismo período O-A y en el siguiente.

Precipitación	Maldonado	S.I.Velasco	Salta	Tucumán
Igual período	0,06	0,21	0,11	0,01
AAQ siguiente	0,04	0,13	0,03	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Concluyendo estos resultados podrían explicar, parcialmente, la disminución de las precipitaciones que ocurren en la Puna y en consecuencia el decrecimiento de la laguna Negra cuando crece la superficie de la laguna Negra en el San Ignacio de Velazco (Matto Grosso).

6.1. Precipitación en la Puna y la superficie de la laguna de los Pozuelos

La lluvia muestra la superficie de la laguna Pozuelos luego de la precipitación al final de la estación seca, obtenida a partir de la precipitación en la Puna y la superficie de la laguna de los Pozuelos.

No me cierra para que se realizaron las correlaciones entre pp y sup de lagunas si luego no se tomaron en cuenta....

Tal vez el incremento de las lagunas en el amazonas no solo tienen que ver con lo que llueve sino como es la dinamica hidrica de la zona...

Aclarar este aspecto...

No se entiende por que si la laguna negra no tiene correlación con la precipitación de la estación asociada se torna en elemento predictivo luego de calcular un coeficiente de sup...(que no se explica en metodología) o se expresó mal.

Tabla 6.4. Laguna de Pozuelos. La precipitación cubre el período julio-junio. La medición de la superficie lagunar se hizo en el mes de agosto posterior respectivo.
Fuente: Elaboración propia.

PERÍODO	AÑO	SUP (ha)	IMÁGENES
Mayo-Sept	1984	14.007,46	Landsat 5
Julio-Sept	1985	12.726,51	Landsat 5
Septiembre	1986	12.350,63	Landsat 5
Septiembre	1987	10.509,59	Landsat 5
Septiembre	1988	11.854,88	Landsat 5
Septiembre	1989	10.252,52	Landsat 5
Septiembre	1990	9.030,03	Landsat 5
Septiembre	1991	9.036,34	Landsat 5
Septiembre	1992	4.690,47	Landsat 5
Septiembre	1993	469,76	Landsat 5
Septiembre	1994	105,67	Landsat 5
Septiembre	1995	456,36	Landsat 5
Septiembre	1996	438,53	Landsat 5
Abril-Julio	1997	11.127,49	Landsat 5
Abril-Julio	1998	6.454,24	Landsat 5
Abril-Julio	1999	9.094,24	Landsat 5
Septiembre	2000	183,88	Landsat 5
Septiembre	2001	9.720,51	Landsat 5
Septiembre	2002	8.282,92	Landsat 7
Abril-Agosto	2003	4.715,19	Landsat 7
Septiembre	2004	3.653,14	Landsat 7
Ago-Septiembre	2005	1.176,10	Landsat 7
Abril-Julio	2006	8.462,96	Landsat 7
Septiembre	2007	2.582,33	Landsat 7
Septiembre	2008	9.387,88	Landsat 7
Septiembre	2009	9.465,38	Landsat 7
Ago-Septiembre	2010	6.784,32	Landsat 7
Septiembre	2011	6.134,28	Landsat 7
Abril-Julio	2012	10316,79	Landsat 7
Septiembre	2013	10538,92	Landsat 8

Septiembre 2014 11025,76
 Abril-Julio 2015 6405,31

ok pero no habias dicho que las pp dadas en abra pampa reflejan mas las condiciones de la puna que la quiaca...no entiendo por que seguís tomando las dos estaciones para seguir con tu analisis. Explicar.

La Tabla 6.5. muestra, para cada período O-A, la fase de la laguna y la precipitación en Abra Pampa y La Quiaca, dos promedios de estos valores (ya que ambas localidades son aproximadamente equidistantes de la laguna de los Pozuelos) y la superficie lagunar estimada.

Tabla 6.5. Relación entre la superficie de la laguna de Pozuelos (ha) y la precipitación (mm) para el período octubre-abril (O-A) en la Puna. AP: Abra Pampa; LQ: La Quiaca; AQ: Promedio entre AP y LQ; AAQ: Promedio ponderado entre AP y LQ dando doble peso a AP. Discriminación por fases Neutra (NE), Niña (NA) y Niño (NO). Las series cubren el lapso 1983/84 a 2014/15.

Período	AP	LQ	AQ	AAQ	Sup	Fase
1983 / 84	600	385	493	528	14008	NE
1984 / 85	341	412	377	365	12727	NA
1985 / 86	502	394	448	466	12351	NE
1986 / 87	387	304	346	359	10510	NO
1987 / 88	474	474	474	474	11855	NO
1988 / 89	379	376	378	378	10253	NA
1989 / 90	377	308	343	354	9030	NE
1990 / 91	413	612	513	479	9036	NE
1991 / 92	219	310	265	249	4691	NO
1992 / 93	285	264	275	278	470	NE
1993 / 94	308	287	298	301	106	NE
1994 / 95	329	361	345	340	456	NO
1995 / 96	319	279	299	306	439	NA
1996 / 97	455	407	431	439	11128	NE
1997 / 98	110	219	165	146	6454	NO
1998 / 99	357	329	343	348	9094	NA
1999 / 00	256	320	288	277	184	NA
2000 / 01	359	392	376	370	9721	NA
2001 / 02	319	295	307	311	8283	NE
2002 / 03	283	370	327	312	4715	NO
2003 / 04	343	350	347	345	3653	NE
2004 / 05	300	197	249	266	1176	NO
2005 / 06	295	287	291	292	8463	NA
2006 / 07	293	358	326	315	2582	NE
2007 / 08	328	435	382	364	9388	NA
2008 / 09	456	453	455	455	9465	NA
2009 / 10	322	332	327	325	6784	NO
2010 / 11	406	239	323	350	6134	NA
2011 / 12	339	343	341	340	10317	NA
2012 / 13	375	474	425	408	10539	NE

2013 / 14	266	284	275	272	11026	NE
2014 / 15	418	303	361	380	6405	NE

Fuente: Elaboración propia.

En parte lo dijiste en metodología y también en el resto de la tesis...no se si repetirlo aquí

Como se comentó en el capítulo 1 en el verano de 1976/77 ocurrió una transición climática brusca en el sistema acoplado atmósfera-océano (TCP), que conecta la temperatura del Océano Pacífico con parámetros climáticos en muchas regiones de la región NOA, Barrera y Maggi (2018) mostraron el impacto de la transición del régimen de precipitaciones, y se comprobó en el capítulo 4.4 que en el estudio del presente capítulo todas las mediciones efectuadas sobre Pozuelos son posteriores a la TCP.

No se ve esto en las figuras... En la 6.3 esperaba ver un límite de la cuenca...y en la 4.4 no se ve la laguna como se donde esta?

La cuenca que incluye a la laguna de Pozuelos es endorreica; está, colecta agua de lluvias de una zona rodeada de cordones montañosos y no tiene salida (ver Figuras 4.4 y 6.3). Debido a ello, el volumen de la laguna debido a las lluvias del período monzónico anterior determina parcialmente el volumen y la superficie lagunar del período considerado. Por lo tanto, no debe esperarse que la correlación entre precipitación y superficie lagunar sea muy alta si no se considera la lluvia caída en el período lluvioso antecedente.

La laguna es extensa y de poca profundidad de menos de 4 m, por lo que la precipitación y la evaporación por advección y radiación, que son intensas durante el verano, provoca muchos cambios. Asimismo, se encuentra en una depresión rodeada de altas pendientes del terreno; debido a ello la relación funcional entre la superficie lagunar y la precipitación no es lineal, sino que un mismo monto de lluvia en la zona (lo que implica igual volumen de agua caída) causa un aumento de superficie en la laguna que es menor si el nivel pre-existente es más elevado, ya que en este caso el perímetro aumenta más lentamente. Esto se verifica con el resultado obtenido (Figura 6.6), producto del análisis que se expone a continuación. Pero en niveles intermedios de extensión de la laguna, frente a la ocurrencia de precipitaciones abundantes, esta reacciona y se verifican cambios de superficie de la misma.

Se hicieron ajustes regresivos entre la serie temporal de superficies de la laguna de Pozuelos y las cuatro series de precipitación acumulada O-A de la tabla 6.5. La serie AAQ (doble peso AP y simple para LQ) es la que mejor correlaciona con la superficie lagunar de Pozuelos. Se efectuó un ajuste regresivo polinómico de orden 2 con la serie AAQ, y se obtuvo una correlación de 62,7% ($R^2=0,39$). Esto se muestra en la Figura 6.6.

Del análisis visual de las series de datos se aprecia que la superficie de la laguna de Pozuelos (proporcional al volumen de agua que contiene) depende en parte de la superficie pre-existente, relacionada directamente con la precipitación del año anterior. Consecuentemente, hemos construido una serie de datos de precipitación, en la cual cada valor es el promedio ponderado del dato en el período considerado y el del período anterior, con doble peso para el período considerado. En este caso, el grado de asociación con la superficie lagunar de Pozuelos aumenta, como se muestra en la Figura 6.7. El índice de correlación (no lineal) es ahora igual al 68% ($R^2=0,46$). La máxima asociación se encontró dando pesos iguales a 0,71 y 0,21 a los valores de

los períodos actual y anterior respectivamente (Figura 6.8). El índice de correlación (no lineal) es en este caso igual al 68,2% ($R^2=0,465$).

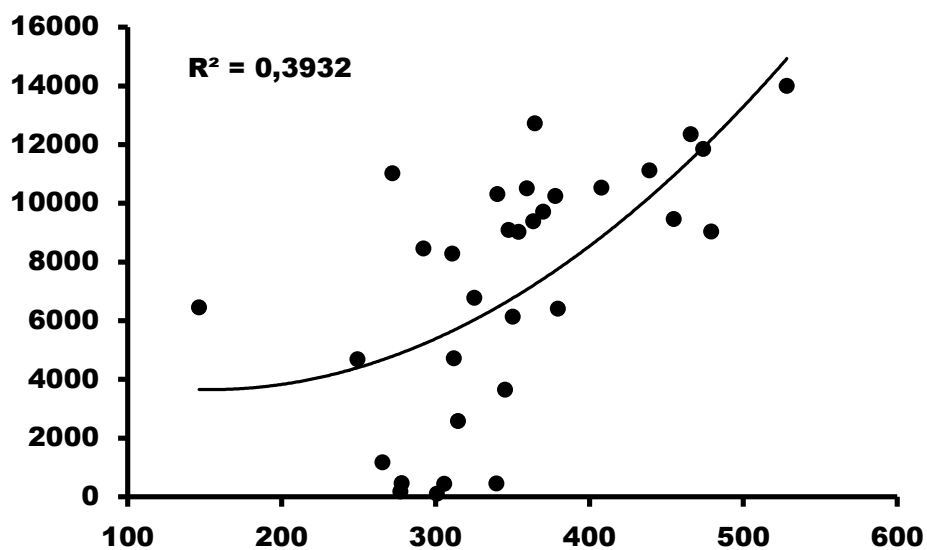


Figura 6.6. Superficie de la laguna de Pozuelos (ha) vs. Precipitación en la Puna (AAQ). Regresión polinómica de orden 2 y coeficiente de determinación. Fuente: Elaboración propia.

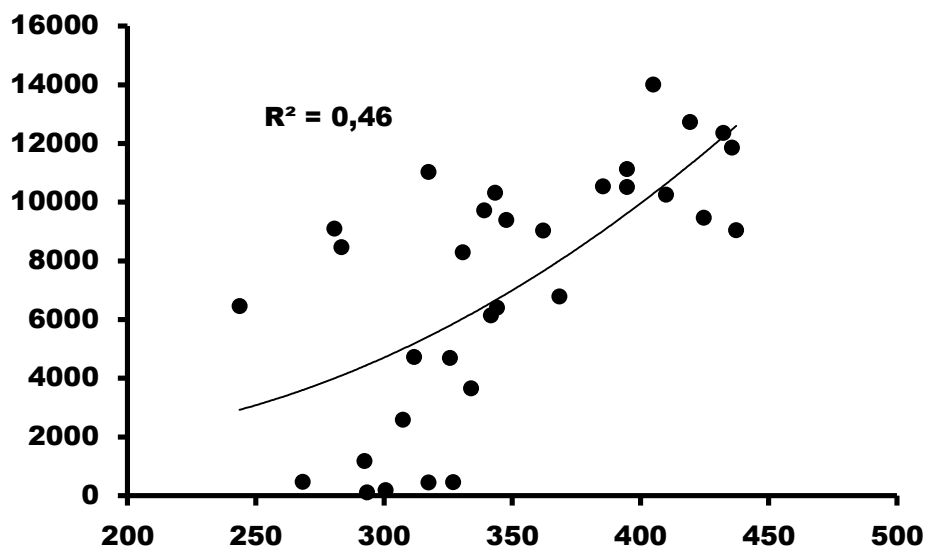


Figura 6.7. Superficie de la laguna de Pozuelos (ha) vs. Precipitación en la Puna ($0,67 \cdot \text{AAQ} + 0,33 \cdot \text{AAQ. anterior}$). Regresión polinómica de orden 2 y coeficiente de determinación. Fuente: Elaboración propia.

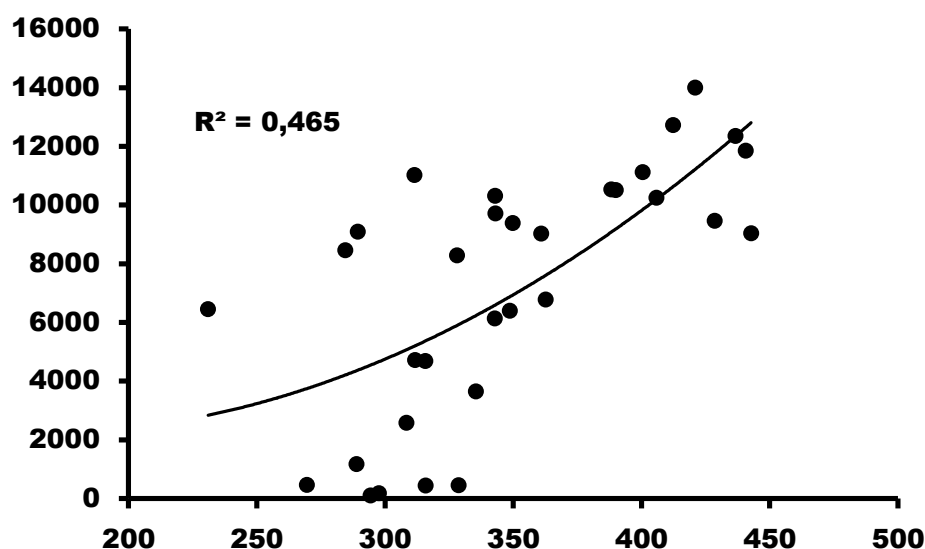


Figura 6.8. Superficie de la laguna de Pozuelos (ha) vs. Precipitación en la Puna ($0,71*AAQ+0,29*AAQ_{anterior}$). Regresión polinómica de orden 2 y coeficiente de determinación. Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados indican que la superficie lagunar de Pozuelos está asociada en forma relevante con la precipitación en la Puna (AAQ), con aproximadamente unos dos tercios de peso para la precipitación del mismo período y un tercio para la ocurrida en el período anterior.

Tabla 6.6. Laguna de los Pozuelos PP precipitación NA La Niña Ne Neutra NO El Niño.

Fase ENOS	Variable	Media	D.E.	CV
NA	PP Abra Pampa	302,81	56,38	18,62
Ne	PP Abra Pampa	344,25	105,75	30,72
NO	PP Abra Pampa	288,64	149,41	51,76
Fase ENOS	Variable	Media	D.E.	CV
NA	Superficie (has)	7834,86	4033,30	51,48
Ne	Superficie (has)	7585,83	4566,17	60,19
NO	Superficie (has)	5830,14	4010,24	68,78

Fuente: Elaboración propia.

También se ha efectuado una desagregación por fases del fenómeno ENOS. Los resultados se muestran a continuación (Figuras 6.9. y Tablas 6.6 y 6.7).

Para el período estudiado, las respuestas de las precipitaciones y de extensión de la laguna de Pozuelos en relación al fenómeno ENOS están en armonía con los resultados mostrados en los capítulos 4 y 5, a saber: Superficies mayores en fases NE y NA, con la menor variabilidad en fase NA; y superficies menores en fase NO (Maggi y otros, 2009 y 2010) Tabla 6.6. Los resultados de PP precipitación (mm) 1983/84 a 2014/15 ($0,71*AAQ + 0,29*AAQ_{anterior}$) se muestran en la Figura 6.9. y la Tabla 6.7.

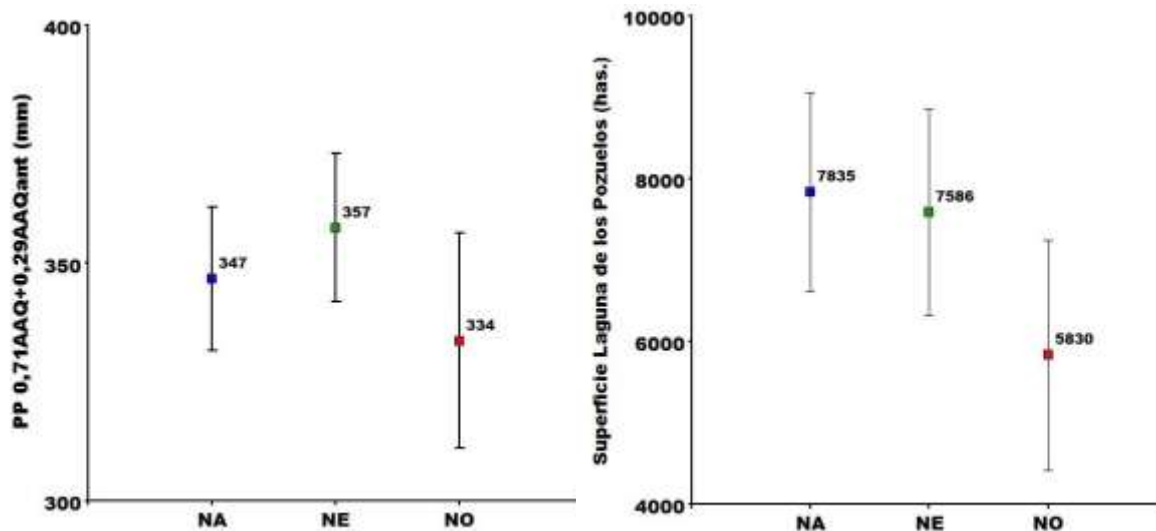


Figura 6.9. Fase ENOS. Precipitación EE INTA Abra Pampa y superficie de la Laguna de Pozuelos Medias y error estándar 95%. NA La Niña Ne Neutra NO El Niño. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.7. PP precipitación (mm) 1983/84 a 2014/15 ($0,71*AAQ + 0,29*AAQ_{anterior}$) donde AP y LQ son del periodo O-A y Superficie Laguna de los Pozuelos (has) NA La Niña NE Neutra NO El Niño.

Fase ENOS	Variable	Media	D.E.	CV
NA	PP ($0,71*AAQ + 0,29*AAQ$)	346,59	50,08	14,45
Ne	PP ($0,71*AAQ + 0,29*AAQ$)	357,39	56,32	15,76
NO	PP ($0,71*AAQ + 0,29*AAQ$)	333,67	64,19	19,24

Fase ENOS	Variable	Media	D.E.	CV
NA	Superficie (has)	7834,86	4033,30	51,48
Ne	Superficie (has)	7585,83	4566,17	60,19
NO	Superficie (has)	5830,14	4010,24	68,78

Fuente: Elaboración propia.

Esta situación refleja en general la relación de la superficie de la laguna de los Pozuelos y el ENOS. Los resultados de la Figura 6.9. y tabla 6.7 prueban que la, superficie de la laguna, además de responder a las precipitaciones d análisis, depende también de su área pre-existente asociada a las período lluvioso anterior. En Australia se reporta para una región árida un comportamiento inverso del crecimiento y secado de lagunas salinas frente a El ENOS respecto al de la laguna de los Pozuelos. Timms, (2006). Mientras que Kotwicki y Allan, (1998), probaron que los episodios de inundación en la cuenca del lago Eyre frecuentemente están asociados con la fase La Niña. Los mayores impactos sobre el ambiente de la Puna ocurren principalmente en las estaciones con lluvia de la Fase El Niño. En estos casos el coeficiente de variación en las precipitaciones es mayor que en las otras fases e incluso es superior para la superficie de la laguna de Pozuelos. Se

En argentina no se comprobo para ninguna laguna??? o lago??

observa asimismo que la media de precipitaciones de los eventos neutros, aunque con mayor variabilidad, es ligeramente superior al promedio de eventos La Niña, para los años donde se midió la laguna y considerando el período julio-junio. Los resultados están en armonía con lo hallado y expuesto en el capítulo 5. Similares resultados observaron en la Laguna Chaupijara de la Puna Norte de Jujuy, Santamans y otros, (2018).

Se pone antes del punto y todo en parentesis.

Esto lo pondria primero antes que irme a Australia o la Eyre...

6.1.4. Conclusiones del Capítulo 6. Parte 1.

Las lagunas de las regiones de Sud América analizadas que rodean al norte y este la laguna de los Pozuelos de la Puna **mostró** que la disminución de las precipitaciones que ocurren en la Puna y en consecuencia el decrecimiento de la laguna de los Pozuelos, se puede relacionar en parte, con el crecimiento de la superficie de la laguna Negra en el pantanal o con el incremento de las lluvias en San Ignacio de Velazco (Matto Grosso).

Asimismo, pudo verificarse adicionalmente, que las cuatro zonas consideradas difieren en su comportamiento respecto del fenómeno ENOS. Al igual que en la Puna, tanto en el Amazonas Peruano como los Andes Peruanos (ambas localidades estudiadas están al norte de 14° S) durante la fase NO ocurren menos precipitaciones.

En cambio, en la zona del Amazonas Boliviano y Norte del Matto Grosso (zonas más llanas y húmeda al sur de 15° S y con escurrimiento hacia el océano Atlántico) se registran precipitaciones más abundantes durante la fase NO que durante la fase NA.

En Abra Pampa el desvío medio es alto para las precipitaciones, y también para la superficie de la laguna de los Pozuelos. En coincidencia con lo visto en el capítulo 4, se comprueba que la media de precipitaciones de los períodos neutros, aunque con mayor variabilidad, es levemente superior al promedio de períodos La Niña. Idénticas conclusiones se obtienen al considerar la precipitación ponderada AAQ.

Existe una asociación muy importante entre la superficie de la Laguna Pozuelos y las precipitaciones registradas en las estaciones de Abra Pampa y La Quiaca (precipitación ponderada AAQ). Esta asociación no es más elevada debido a la alta variabilidad espacial de la precipitación de tipo convectivo que impera en la zona de estudio. En segundo lugar, porque la superficie lagunar está afectada por otras variables, tales como las variaciones interanuales de la evapotranspiración, de la extensión residual estimada del año anterior y previa al nuevo monzon.

Para la Puna, en relación al fenómeno ENOS, se puede ratificar que existe una respuesta parcial de las precipitaciones a dicho fenómeno, existiendo otros procesos que influyen sobre estas. Aun así, se mantiene un orden creciente de los promedios de precipitación según la fase del ENOS: NO<NA<NE. El promedio de la superficie de la laguna de los Pozuelos durante El Niño generalmente es menor a las otras fases y se requieren más observaciones para demostrar si estas diferencias son significativas dada la alta variabilidad de este parámetro.

Es importante evaluar como el tamaño de la laguna de los Pozuelos se relaciona con el período lluvioso precedente, y como afecta la respuesta del crecimiento de la extensión de su superficie en el siguiente periodo de lluvias, al analizar las extensiones alcanzadas Tabla 6.7.

6.2. Cobertura vegetal, NDVI y las oscilaciones climáticas.

6.2.1. Introducción NDVI

Los cambios producidos en el régimen hídrico tanto por causas naturales como antrópicas afectan directamente a los diversos ecosistemas terrestres, especialmente sus productividades, las cuales pueden medirse indirectamente a partir de modelos biofísicos. La Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) permite conocer la cantidad de forraje disponible para los herbívoros (Oesterheld y otros, 1998; Golluscio y otros, 2009). La misma se ha estimado con éxito a través del sensor MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua para la región de la Puna Jujeña (Baldassini y otros, 2012) a través del Índice Verde de Diferencia Normalizada (NDVI) que está directamente relacionado con la capacidad fotosintética (Sellers, 1985) y se basa en la diferencia entre el porcentaje de radiación reflejada en el rojo (620-670 nm) y en el Infrarrojo cercano (841-876 nm), por el tejido foliar:

$$\text{NDVI} = (\text{IRC} - \text{R}) / (\text{IRC} + \text{R})$$

La productividad de las comunidades vegetales de mayor valor forrajero, afectan directamente la actividad ganadera, por ser el sustento de los animales. Tal es el caso de las poblaciones asentadas en la Puna Jujeña que subsisten principalmente mediante la producción de carne y fibra que obtienen de la cría extensiva de cabras y ovejas y en menor medida, llamas, vicuñas, alpacas, guanacos y vacas (FAO, 2005). Además, dependen de las comunidades vegetales por las especies leñosas presentes en las mismas que son usadas como recurso combustible, en la mayoría de los casos único, para satisfacer diversas necesidades como calefacción, cocción de alimentos, etc. (SAyDS, 2003; Reboratti, 2006).

La presión de pastoreo es una de las principales causas de degradación y desertificación (Ares y otros, 2003; Manzano y otros, 2000; Navone y Maggi, 2011), en especial, en los ecosistemas de regiones áridas y semiáridas, donde la escasa cobertura vegetal en la mayor parte del año, las bajas precipitaciones, los suelos de bajo contenido de materia orgánica, nutrientes y frágil estructura, son especialmente susceptibles (Reynolds y Stafford Smith, 2002).

Conocer la variabilidad climática tanto de origen natural como antrópica en este sistema productivo de ganadería extensiva es fundamental para poder identificar y predecir períodos críticos en la productividad de las comunidades vegetales, especialmente los años de sequía, donde el riesgo de pérdidas ganaderas y económicas son muy altas, y por ende también, la vulnerabilidad de las poblaciones asentadas de la región (Washington-Allen y otros, 2008). Poder identificar y predecir estos períodos, permitiría anticipar condiciones críticas de los ecosistemas que pueden llevar a la degradación de tierras por la excesiva presión de pastoreo en años

La forma de citar no es la que venis usando...y la cita va antes del punto final y entre parentesis toda (Huber y Fensholt, 2011).

secos con escasa cobertura vegetal de regiones áridas y semiáridas de la Puna Jujeña (Reboratti, 2006), permitiendo implementar a tiempo, manejos diferenciados que permitan la conservación de este ecosistema.

Hay antecedentes de estudios en otras regiones del mundo que relacionan con éxito El ENOS y la PDO sobre el NDVI en regiones áridas. Huber, & Fensholt, (2011).

El objetivo de la siguiente sección de este capítulo consistió en conocer en mayor detalle la dinámica anual e interanual en la productividad de distintas comunidades vegetales representativas de la Puna Jujeña y su respuesta ante la variabilidad del clima dada por el fenómeno ENOS, intentando identificar y predecir momentos críticos para detectar los periodos donde sería conveniente implementar manejos diferenciados que eviten la degradación.

6.2.2. Metodología

Para determinar la respuesta de las comunidades vegetales frente al fenómeno ENOS se delimitó una zona de estudio entre los 21° 2' 36,99" y 24° 7' 0,99" de Latitud Sur y los 66° 26' 12,00" y 65° 22' 12" de Longitud Oeste.

Para el análisis de la productividad de la vegetación se utilizaron los NDVI obtenidos del sensor MODIS a bordo del satélite Terra (Huete, 2002), de 250 m por pixel de resolución espacial, correspondientes al producto MOD13Q1 (<ftp://e4ftl01u.ocs.nasa.gov/MOLT>), donde cada una de estas imágenes es el resultado de la composición de mosaicos de los mayores valores diarios de cada pixel durante un período de 16 días.

Como este producto de NDVI tiene una resolución temporal de 16 días, se obtuvieron dos imágenes mensuales para cada año de la serie 2000/2011 analizada. No se incluyeron los meses de enero, febrero, marzo y primera parte del mes de abril del año 2000 en los cuales el satélite aún no había comenzado la adquisición de imágenes.

Los datos meteorológicos para analizar la influencia climática sobre las comunidades vegetales, fueron las precipitaciones mensuales registradas por la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (EEA INTA) de Abra pampa y la Estación Meteorológica de La Quiaca, perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

A partir del mapa de comunidades vegetales elaborado por Movía y Ruthsatz (1975), se determinaron áreas muestrales de 100 pixeles para cada una de las nueve comunidades vegetales de la Puna Jujeña elegidas: Estepa de *Fabiana densa* y *Baccharis boliviensis*, Estepa arbustiva de *Tetraglochin cristatum*, Matorrales de *Parastrephia lepidophylla*, Pastizal altoandino con arbustos, Estepa arbustiva de *Baccharis boliviensis*, Matorrales de *Parastrephia sp*, Vegetación de médanos, Vegetación de médanos y matorrales de *Parastrephia lepidophylla* y Pastizales de *Pennisetum chilense*.

Con los datos obtenidos de todos los píxeles muestreados para toda la serie se realizó un Análisis de la Varianza (ANOVA) para comparar el NDVI de las comunidades entre sí y establecer si hay diferencias significativas entre los valores de NDVI como una aproximación de las productividades de las mismas y la cobertura de suelo. Luego con cada comunidad se prosiguió elaborando las marchas anuales del NDVI para el período monzónico 2005/06 correspondiente a un año de precipitaciones normales de la fase neutra para el ENOS, con el fin de analizar el comportamiento de las mismas en una situación normal de lluvias.

Posteriormente y con las mismas comunidades seleccionadas previamente, se realizó el análisis en detalle el NDVI como proxy de la productividad para cada una de ellas, el cual consistió en realizar ANOVAs por comunidad y para cada mes del período monzónico en los que se observan precipitaciones (Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril) respecto a las fases El Niño 2002/03 y La Niña 2008/09 de menores y mayores precipitaciones generales registradas respectivamente, por las estaciones meteorológicas de Abra Pampa y la Quiaca en la década del 2000.

Con el fin de determinar cómo las distintas fases del ENOS pueden influir en la variación de la cobertura vegetal de la región y por ende identificar que comunidades vegetales están más expuestas a sufrir procesos erosivos y de desertificación, se generaron modelos que relacionan el NDVI de MODIS con la cobertura vegetal de las estepas arbustivas, de gramíneas y mixtas Maggi y Ponieman (2018). Los promedios de NDVI de las fases El Niño y La Niña fueron usados para estimar las coberturas vegetales (aplicando las ecuaciones) y luego se compararon con los datos publicados por Movía y Ruthsatz (1975) y posteriormente se verificaron con los datos registrados y medidos en las distintas campañas realizadas en el sitio piloto Puna FAUBA del ONDTyD, monitoreados por Maggi y Navone.

6.2.3. Resultados

El NDVI como indicador de las Productividades de las comunidades y su cobertura vegetal.

Las estadísticas de resumen para las nueve comunidades analizadas mostraron que el promedio del NDVI como proxy de la productividad primaria neta aérea (PPNA) para las fases La Niña, fue ligeramente superior al de las fases El Niño para todas las comunidades a excepción de la Estepa de *Fabiana densa* y *Baccharis boliviensis* Tabla 6.8. Ello se debe que al promediar las variaciones intra-anales causadas por el “monzón” o estación lluviosa, no se logra diferenciar bien los cambios interanuales enmascarando los efectos del ENOS.

Tabla 6.8. Medias y desvíos de los NDVI de toda la serie analizada para cada comunidad y diferenciado por fase del ENOS.

Comunidades	La Niña		El Niño	
	Media	D.E.	Media	D.E.
<i>Estepa arbustiva de Baccharis boliviensis</i>	0,1469	0,0355	0,1438	0,0301
<i>Estepa arbustiva de Tetraglochin cristatum</i>	0,1660	0,0366	0,1631	0,0305
<i>Estepa de Fabiana densa y Baccharis boliviensis</i>	0,1225	0,0247	0,1226	0,0203
<i>Matorrales de P. lepidophylla con peladares</i>	0,1771	0,0527	0,1670	0,0375
<i>Veg. de médanos y matorrales de P. lepidophylla</i>	0,1664	0,0457	0,1591	0,0355
<i>Pastizal altoandino con arbustos</i>	0,1746	0,0369	0,1702	0,0293
<i>Pastizal de Pennisetum chilense</i>	0,1850	0,0508	0,1780	0,0393
<i>Matorrales de Parastrephia sp</i>	0,2295	0,0765	0,2213	0,0603
<i>Vegetación de médanos</i>	0,1595	0,0487	0,1540	0,0402

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el cálculo de los promedios mensuales de toda la serie de NDVI 2000-2011 de las nueve comunidades analizadas, se realizó un ANOVA entre las mismas Tabla 6.9. Se demuestra que muchas estepas pueden ser identificadas de acuerdo a lo valores de NDVI y comunidades como esporal *Pennisetum chilense* y matorrales de *Parastrephia sp*. Se pueden separar en forma significativa.

Tabla 6.9. Resultados del ANOVA para las 9 comunidades elegidas en base a los NDVI registrados para el período 2000/11 (test de tukey de 5% y n= 139). Los asteriscos indican las comunidades elegidas para el análisis detallado.

Comunidades	Medias	D.E					
Estepa de <i>Fabiana densa</i> y <i>Baccharis boliviensis</i> *	0,122	0,022	A				
Estepa arbustiva de <i>Baccharis boliviensis</i>	0,145	0,032		B			
Vegetación de médanos*	0,156	0,044		B	C		
Veg. de médanos y matorrales de <i>Parastrephia lepidophylla</i>	0,162	0,040		B	C	D	
Estepa arbustiva de <i>Tetraglochin cristatum</i> *	0,164	0,033		B	C	D	
Matorrales de <i>Parastrephia lepidophylla</i> con <i>peladares</i>	0,171	0,045			C	D	
Pastizal altoandino con arbustos	0,172	0,033			C	D	
Pastizal de <i>Pennisetum chilense</i> *	0,181	0,044				D	
Matorrales de <i>Parastrephia sp</i> *	0,226	0,068					E

Fuente: Elaboración propia.

Se escogió un año con precipitaciones de distribución cuasi normal (2005/06), para estudiar la marcha anual del NDVI, como proxy de la cobertura vegetal y la productividad forrajera. Comparando los datos de precipitación con los de productividad Figura 6.10 se observó que existe aproximadamente una diferencia de un mes entre el pico de la respuesta del NDVI y las lluvias. Este retraso en la respuesta de la vegetación a los pulsos de humedad de otros? unificar ocurrencia de las lluvias también fue demostrado en ambientes similares de Israel (Schmidt y Karnieli 2000), en África al oeste (Philippon et al. 2005) y al sur (Wiegand et al. 2008) y en Argentina para la estepa patagónica (Fabricante et al. 2009). Además, Sternberg et al. (2011) probaron como las anomalías de la precipitación provocan cambios en los valores del NDVI y afectan la cobertura vegetal provocando la desertificación.

Las cinco comunidades elegidas por la agrupación del ANOVA realizado corresponden a: Estepa de *Fabiana densa* y *Baccharis boliviensis*, Vegetación de médanos, Estepa arbustiva de *Tetraglochin cristatum*, Pastizal de *Pennisetum chilense* y Matorrales de *Parastrephia sp* de menor a mayor productividad respectivamente. Figura 6.12. como se puede observar hay un marcado patrón de productividad estacional, en el cual hay reducidos valores de NDVI entre los meses de Mayo y Septiembre coincidentes con el periodo de precipitaciones escasas y/o nulas, temperaturas bajas y que luego se incrementa a una tasa creciente a partir de los meses de Septiembre/Octubre, cuando se registran las primeras lluvias. Posteriormente y por el elevado incremento en las precipitaciones se llega a los máximos en Febrero y Marzo, para finalmente comenzar la disminución en la productividad en el mes de Abril cuando las lluvias y temperatura disminuyen, comenzando en octubre nuevamente otro ciclo monzónico.

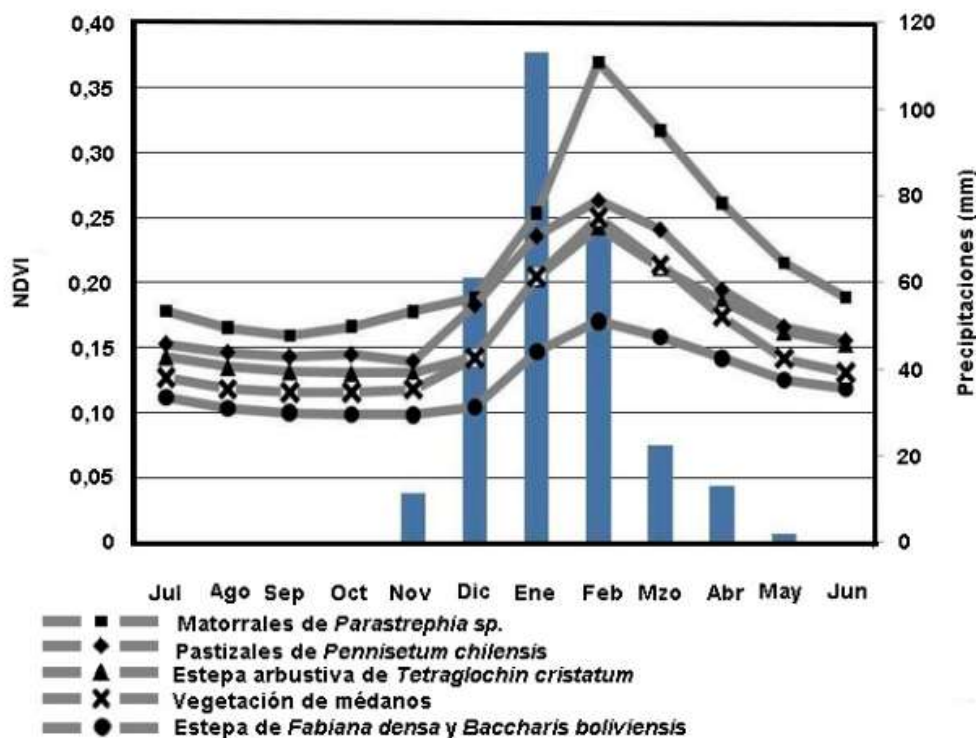


Figura 6.10. Se muestran las marchas anuales de NDVI del período monzónico 2005/06 para las comunidades elegidas del ANOVA. Las barras en azul muestran las precipitaciones mensuales registradas en la EEA INTA de Abra Pampa para dicho período. Fuente: MODIS y SMN. Elaboración: propia.

Tabla 6.10. Coberturas vegetales de las cinco comunidades analizadas en detalle obtenido de Ruthsatz y Movia (1975).

Comunidades	% Cobertura Vegetal
Estepa arbustiva de <i>Tetraglochin cristatum</i>	25
Estepa de <i>Fabiana densa</i> y <i>Baccharis boliviensis</i>	20
Matorrales de <i>Parastrephia</i> sp.	60
Pastizal de <i>Pennisetum chilense</i>	30
Vegetación de médanos	15

Fuente: Elaboración propia.

Considerando que la productividad de la vegetación es estimada indirectamente a través del NDVI y que el mismo está estrechamente relacionado con la cobertura vegetal (Carlson y Ripley, 1997), se puede inferir que este factor explicaría la mayor parte de las diferencias observadas entre las distintas comunidades. Estos se correlacionan con los datos de cobertura vegetal obtenidos por Ruthsatz y Movia (1975) donde los Matorrales de *Parastrephia sp* se diferencia claramente del resto por su alta PPNA, siendo además la de mayor cobertura entre las comunidades analizadas Tabla 6.10. Los siguen en cobertura y en productividad los Pastizales de *Pennisetum chilense*. Las restantes comunidades presentan valores de cobertura intermedias a bajas y por ende escasos valores de NDVI y productividad haciéndose menos evidentes las diferencias entre las mismas.

Analizando la serie de las precipitaciones de cada período monzónico, entre los meses de Septiembre-Abril, los cuales incluyen casi la totalidad las precipitaciones del periodo de lluvias, se identificaron los registros extremos. Se escogiendo las fases El Niño 2002/03 y La Niña 2008/09 para comparar las diferencias en las coberturas vegetales causadas por el fenómeno ENOS,

A nivel regional se observó una mayor productividad de la vegetación en el periodo 2008/09, situación que se vio reflejada en Marzo, cuando se comparan los valores de NDVI de las fases El Niño y La Niña escogidas Figura 6.11.

Cuando se compara los valores de NDVI del mes de marzo fin de la estación lluviosa entre años con fases contrapuestas de ENOS y precipitaciones contrastantes, se observa como disminuyen los valores durante El Niño 2003 y en consecuencia la cobertura vegetal y PPNA. El ojo de agua se achica y aumenta el borde de la laguna donde disminuyen los valores de NDVI. Figura 6.11.

Los resultados obtenidos para las cinco comunidades muestran que el mes de Septiembre donde las precipitaciones son aún muy escasas hay muy poca diferenciación entre las productividades para las dos fases. Sin embargo, para los meses de Octubre y Noviembre para la fase El Niño se registren diferencias significativas mayores respecto a La Niña Figura 6.12., donde las mismas fueron mayores en estos meses para la fase El Niño. La situación se revirtió notablemente en los meses de Enero, Febrero y Marzo, cuando se registraron las mayores precipitaciones de los períodos monzónicos, y, por consiguiente, la productividad aumentó notablemente. Si bien es común a las dos fases, en La Niña se hace más notable este incremento y a excepción de las dos comunidades con menores productividades (la estepa de *Fabiana densa* y *Baccharis boliviensis*; y la estepa arbustiva de *Tetraglochin cristatum*), las restantes comunidades marcaron diferencias significativas para los tres meses con superiores productividades en La Niña, resultados similares a los obtenidos por Maggi y otros, (2011). Estas diferencias explican que para tres de las comunidades (Matorrales de *Parastrephia sp*, Pastizales de *Pennisetum chilense* y Vegetación de médanos) las productividades acumuladas en la fase La Niña hayan sido mayores que en El Niño para los meses analizados Figura 6.12.

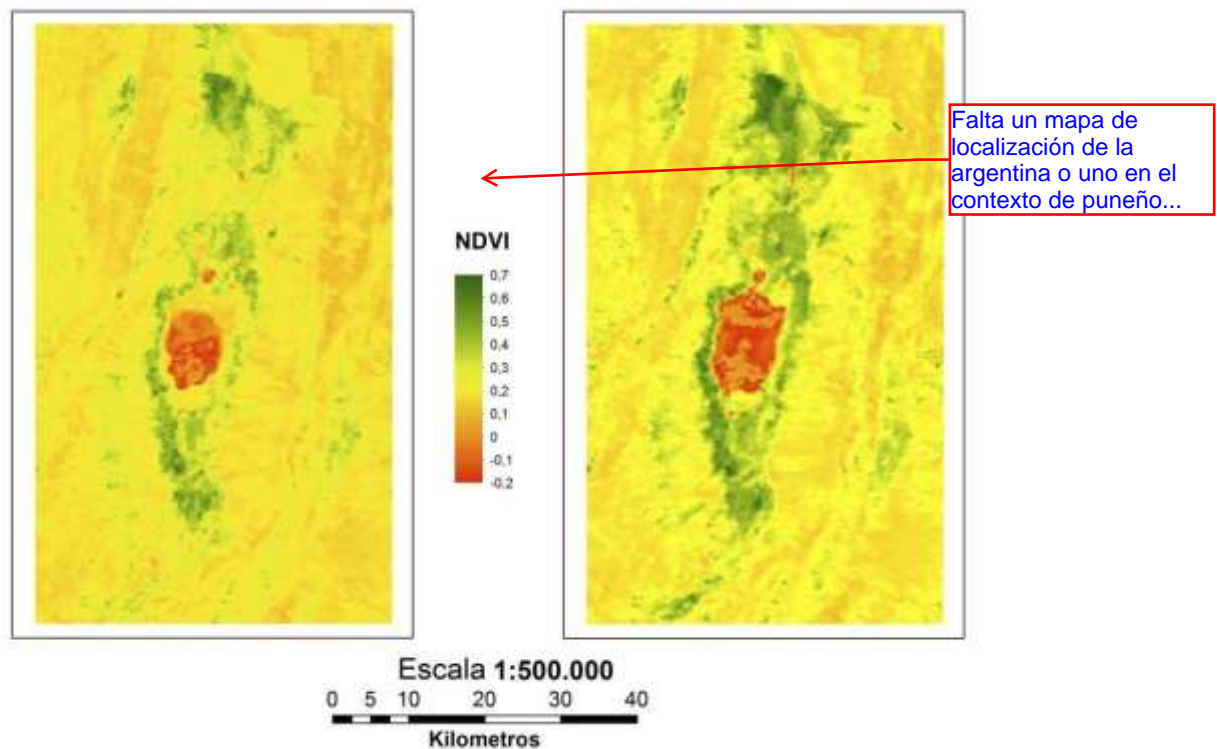


Figura 6.11. NDVI a escala regional de la zona de estudio del mes de Marzo del 2003 correspondiente a la fase El Niño (izq..) y NDVI del mes de Marzo del 2009 correspondiente a la fase La Niña (der.). Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se observó que en aquellas comunidades de bajas productividades y cobertura (estepa de *Fabiana densa* y *Baccharis boliviensis*; y estepa arbustiva de *Tetraglochin cristatum*) no hubo una tendencia definida en el análisis mes a mes respecto a la fase del ENOS siendo las productividades acumuladas muy similares entre fases Figura 6.12. En el mes de abril, al final del periodo de lluvias, si bien se observan diferencias significativas de productividad a favor de La Niña para Matorrales de *Parastrephia sp*, Pastizales de *Pennisetum chilense* y Vegetación de médanos, estos valores de incremento son menores, estabilizándose la productividad acompañando el comportamiento de las precipitaciones.

Uno de los avances en el desierto de Israel es el desarrollo de modelos que relacionan la precipitación con el NDVI perteneciente al mismo sitio georreferenciado y que permiten estimar la biomasa de arbustales con diferentes variaciones espacio temporales. Sumando las Figuras 6.11., y 6.12., que muestra el resultado relaciona la precipitación con el NDVI, ó la investigación de Baldassini y otros, (2012) donde han obtenido ecuaciones entre la PPNA y el NDVI, podemos esperar un comportamiento similar al modelado realizado por Shoshany, & Karnibad, (2015) en estepas arbustivas de un sector árido. Cuando la estación lluviosa es aislada para estudiar el ENOS se logra diferenciar los efectos de El Niño sobre las diferentes

Es Shoshany y Karnibad (2015)

estepas como se observa en la Figura 6.11., y son separados de manera similar a lo hallado por Weiss, y otros, (2004).

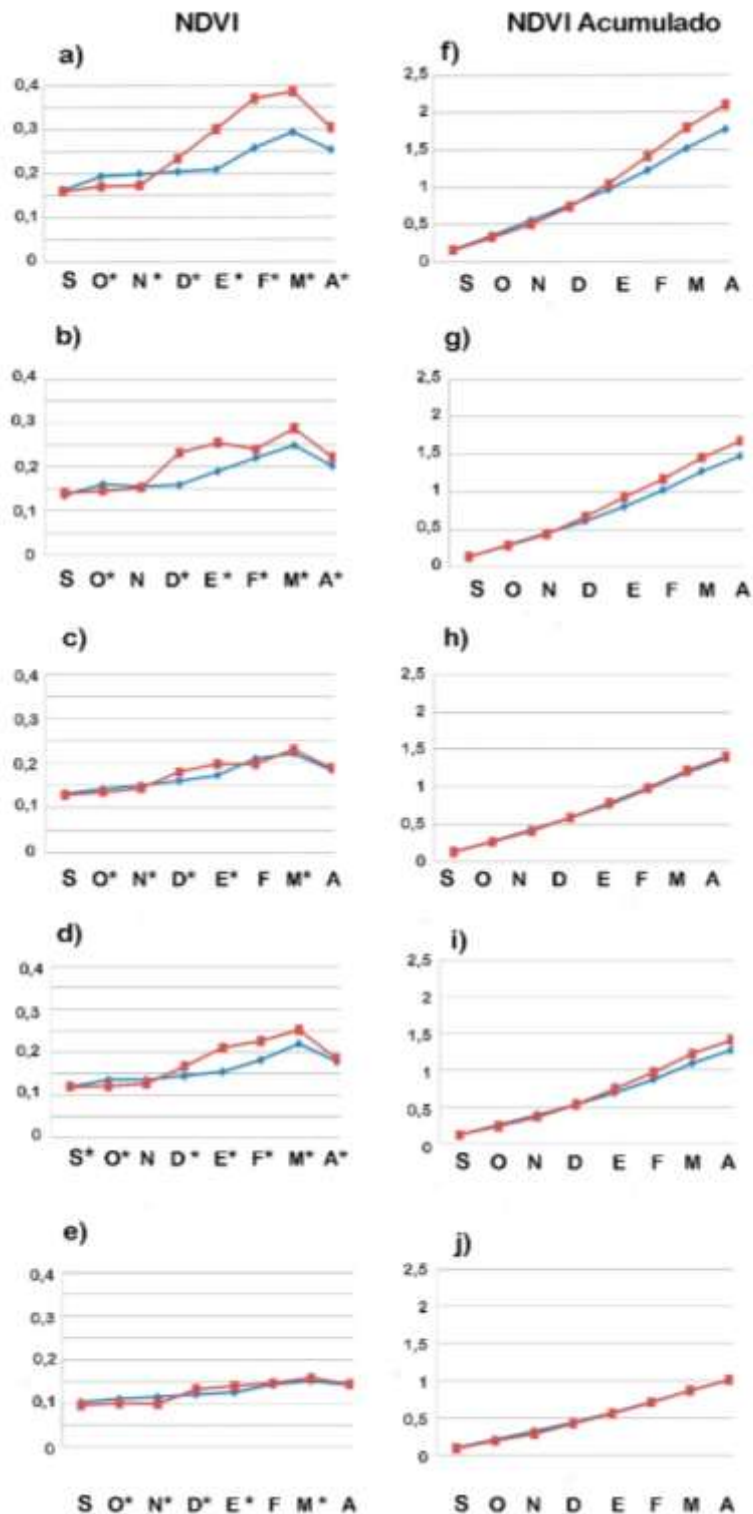


Figura 6.12. Marcha del NDVI (izq.) y NDVI acumulado (der.) períodos 2002/03 y 2008/09. El Niño (azul) La Niña (rojo) respectivamente. Comparación mes a mes entre ambos periodos (*) diferencia significativa Tuckey=0.05. tuckey 0.05 a) y f)

Parastrephia sp. b) y g) *Pennisetum chilense* c) y h) *Tetraglochin cristatum* d) y i) Veg. médanos e) y j) *Fabiana densa* y *Baccharis boliviensis*. Fuente: Elaboración propia.

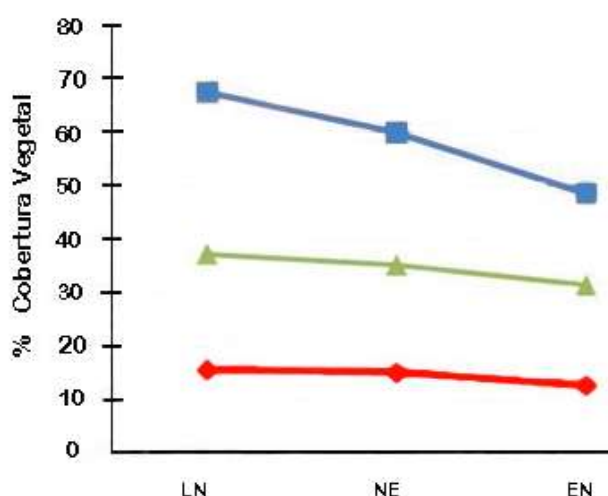


Figura 6.13. LN (azul) NE (verde) EN (rojo). Simulación del cambio en el % de cobertura vegetal para 3 comunidades representativas en base a las fases del ENOS Fuente y Elaboración propia.

Aplicando la metodología de ecuaciones Carlson y Ripley, (1997), que permite relacionar la cobertura vegetal con NDVI, se realizó una simulación de CV para cada fase usando el promedio de los valores de NDVI obtenidos para los meses de Enero, Febrero y Marzo (meses de mayor crecimiento) y pa (Fig. 6.13) representativa. Rojo: Matorrales de *Parastrephia* sp; verde: Pastizal de *Pennisetum chilense*; azul: Vegetación de médanos en cada uno de los eventos El Niño, Neutro y La Niña respectivamente. Figura 6.13.

Investigadores como Ramsey y otros, (2004), Amiri, & Tabatabaie, T. (2010), usando imágenes satelitales lograron valorar la cobertura vegetal en pastizales y arbustales de áreas áridas y semiáridas, desarrollando funciones lineales que permiten relacionar la cobertura vegetal de con el NDVI. Del mismo modo, se aplicaron métodos similares, que han permitido elaborar funciones con datos de cobertura vegetal medidos en terreno e identificados por puntos GPS y sus correspondientes valores de NDVI de MODIS según pixeles y fechas. Tablas 6.11. y 6.12. descartando pixeles que, por presencia de formas naturales o culturales como lagunas, caminos, nubes, sombras u otros artefactos., que subestiman los valores de NDVI Figura 6.14. De esta manera se puede determinar cuánto suelo queda descubierto. Así, se obtuvieron ecuaciones que permiten estimar las coberturas de las principales estepas presentes en la Puna.

Tabla 6.11. Cantidad de datos recolectados de medición directa o estimación visual que corresponden a cada tipo fisonómico de la región Puna.

Tipo fisonómico	Total de datos (n)	Medición directa	Estimación visual
Estepa arbustiva	139	23	116
Estepa de gramíneas	29	5	24

Estepa mixta	42	10	32
Datos sin tipo fisonómico	11	5	6
TOTAL	221	43	178

Fuente: Elaboración propia.

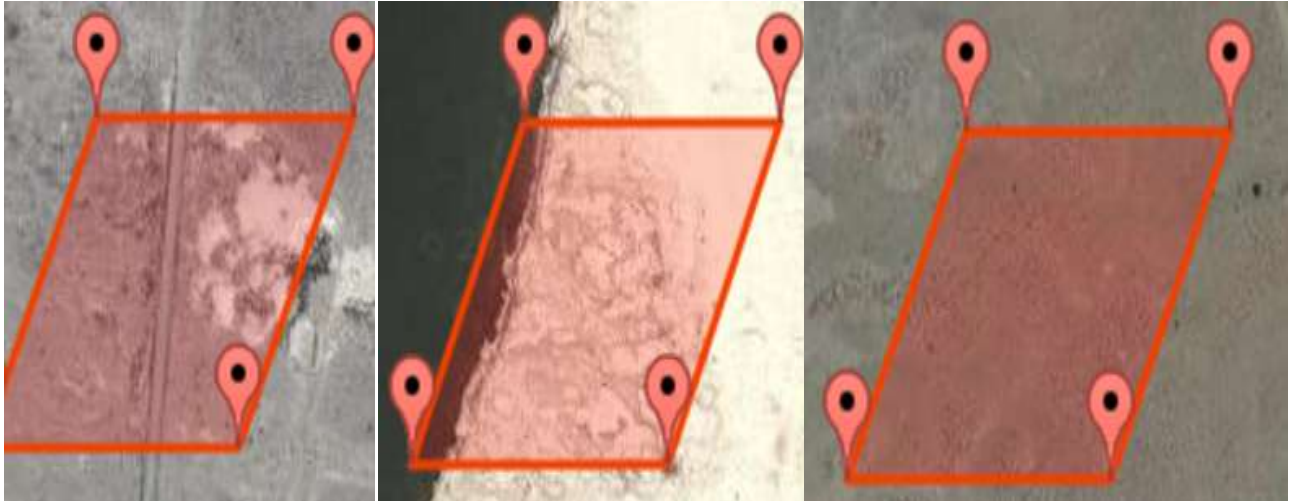


FIGURA 6.14 Pixeles NDVI MODIS: Camino, nubes y sombras (izq.); Costas de laguna y nubes (centro.); y pixel escogido por su condición natural de vegetación y suelo (der.). Fuente: propia.

SOLO SE CONSIDERARON PÍXELES HOMOGÉNEOS

y esto por que esta así?? es una oración o te quedo de algun borrador..??

Tabla 6.12. Funciones logarítmicas y lineales obtenidas de la relación entre cobertura vegetal (y) y NDVI (x) según la metodología de medición de cobertura utilizada y el tipo fisonómico.

Tipo fisonómico	Tipo de función	TODOS		ESTIMACIÓN VISUAL		MEDICIÓN DIRECTA	
		Función	R ²	Función	R ²	Función	R ²
Todos	Ln	$y=29,3\ln(x)+104,3$	0,30	$y=28,3\ln(x)+104$	0,28	$y=32,3\ln(x)+102,6$	0,39
	Lineal	$y=170,3x+21,1$	0,28	$y=158,8x+24,8$	0,26	$y=216,4x+5,9$	0,42
E. arbustiva	Ln	$y=27,7\ln(x)+100$	0,30	$y=27,4\ln(x)+101,5$	0,28	$y=26,9\ln(x)+88,3$	0,47
	Lineal	$y=181,7x+18,2$	0,29	$y=176,9x+21,2$	0,26	$y=201,9x+3,7$	0,57
E. de gramíneas	Ln	$y=31,9\ln(x)+115,2$	0,39	$y=27,7\ln(x)+111,2$	0,42	$y=53,9\ln(x)+140,5$	0,44
	Lineal	$y=137,3x+33,1$	0,36	$y=117,4x+40,2$	0,40	$y=362,6x-17,8$	0,45
E. mixta	Ln	$y=21\ln(x)+93,8$	0,12	$y=16,9\ln(x)+85,7$	0,08	$y=22,8\ln(x)+101$	0,11
	Lineal	$y=109,9x+36,8$	0,13	$y=94,6x+38,6$	0,10	$y=103,2x+42,8$	0,10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.13. Funciones que relacionan la cobertura medida o estimada a campo y el factor C calculado a partir de la Tabla de Wischmeier & Smith (1978). Se diferenciaron las funciones por tipo fisonómico de la vegetación. y =Cobertura real; x =factor C

Tipo fisonómico	Tipo de función	Wischmeier & Smith (1978).					
		TODOS		ESTIMACIÓN VISUAL		MEDICIÓN DIRECTA	
		Función	R ²	Función	R ²	Función	R ²
Todos	ln	$y=-22,4\ln(x)+20,1$	0,17	$y=-21\ln(x)+23,2$	0,17	$y=-25,3\ln(x)-11,2$	0,14
	lineal	$y=-116x+82,6$	0,22	$y=-108,3x+81,5$	0,20	$y=-128x+81,8$	0,22
E. arbustiva	ln	$y=-68,8\ln(x)-34,4$	0,33	$y=-59,7\ln(x)-22,8$	0,24	$y=-57,4\ln(x)-58,6$	0,62
	lineal	$y=-222,5x+116,2$	0,37	$y=-200,4x+110$	0,27	$y=-253,8x+123,2$	0,62
E. de gramíneas	ln	$y=-96\ln(x)-146,6$	0,83	$y=-99,7\ln(x)-154,2$	0,76	$y=-79,5\ln(x)-116,9$	0,96
	lineal	$y=-711x+144$	0,80	$y=-803,8x+155,1$	0,73	$y=-541,9x+117,5$	0,95
E. mixta	ln	$y=-30,8\ln(x)+18,8$	0,04	$y=-11,1\ln(x)+41,5$	0,01	$y=-117\ln(x)-80,5$	0,39
	lineal	$y=-117,8x+91,4$	0,05	$y=-51,72x+70,4$	0,01	$y=-388,4x+178,2$	0,41

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estas funciones matemáticas se pudo desarrollar ecuaciones que permiten estimar el factor C de la USLE. Tabla 6.13. A partir de las funciones matemáticas que permiten estimar las diversas coberturas vegetales a partir del NDVI de MODIS Tabla 6.12, se desarrollaron funciones para estimar el factor C de la USLE. Tabla 6.13. La creación de algoritmos locales mejora la estimación de datos a partir de sensores remotos. Los cambios de cobertura vegetal son muy sensibles en el monitoreo de la degradación de las tierras y en especial en los estudios de erosión. Estas funciones son un aporte original e importante para estudios de vegetación y suelos en la Puna.

Las mediciones de CV de Ruthsatz y Movia fueron realizadas antes de la TCP y ello explica los valores mas bajos. La excepción se manifiesta en los Matorrales de *Parastrephia* debido a que la tola es una especie freatrófito que además es utilizada su leña.

La tabla 6.14, muestra que las estimaciones de cobertura vegetal de estas comunidades representativas se aproximan a los datos publicados por Ruthsatz y Movia, (1975). Los años con precipitaciones extremas provocadas por EL ENOS pueden modificar la cobertura vegetal en proporciones diferentes cada comunidad. Tabla 6.1., y Figuras 6.13., 6.14 y 6.15.

Tabla 6.14. Porcentaje de cobertura vegetal promedio por comunidad fases EN y LN y valores del relevamiento Ruthsatz & Movia, (1975). Fuente: Elaboración propia.

Tipo Fisonómico	Promedio de % Cobertura vegetal a partir de (Tabla 6.12) NDVI MODIS		% Cobertura vegetal Ruthsatz & Movia, (1975)
	La Niña 2000-11	El Niño 2000-11	
Pastizal de <i>Pennisetum chilense</i>	49	47	30
Vegetación de médanos	36	35	15
Matorrales de <i>Parastrephia sp</i>	50	48	60
<i>Fabiana densa</i> + <i>Baccharis boliviensis</i>	28	28	20
Estepa arbustiva de <i>Tetraglochin cristatum</i>	37	37	25

Tabla 6.15. Porcentaje de cobertura vegetal promedio por comunidad fases EN y LN extremos. Fuente: Elaboración propia.

% C.V. ENOS extremos	marzo-08 LN	marzo-03 EN	Diferencia
Pastizal de <i>Pennisetum chilense</i>	91	78	13
Vegetación de médanos	46	27	19



Figura 6.14 Foto de una parcela clausura de Pastizal de Pennisetum chilense con 85-90% C.V. en un año La Niña. Fuente: propia.

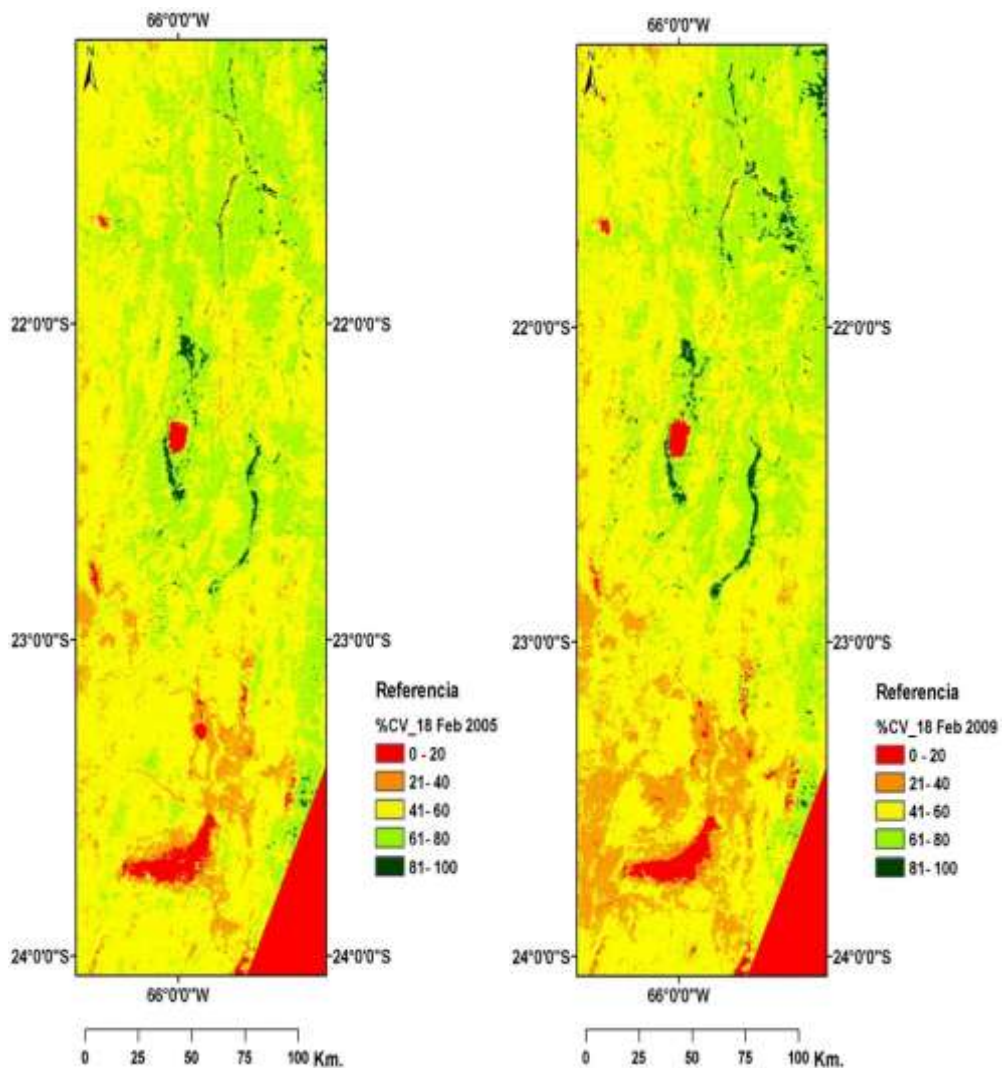


Figura 6.15. NDVI a escala regional de la zona de estudio del mes de Marzo del 2005 correspondiente a la fase EN (izq..) y NDVI del mes de Marzo del 2009 correspondiente a la fase LN (der.). Fuente: Elaboración propia.

Aunque los cactus requieren poca humedad y se adaptan a climas áridos, necesitan lluvia regular. Ellos estarían pobremente adaptados para sobrevivir 12

meses de sequía y su presencia no parece adecuada con la alta variabilidad de las lluvias causadas por El ENOS en Australia Verstraete, & Schwartz (1991). En La Quiaca y Abra Pampa también ocurren sequías prolongadas, de más de un año, y si bien se encuentran cactáceas en algunas comunidades su presencia no es abundante, ellas son de bajo porte y no son dominantes. Sin embargo, a diferencia del centro oeste de Australia, como ya se comentó, en la Puna hay varias causas que generan precipitaciones, lo que podría causar la presencia de algunos especímenes de esa familia. Una de las estrategias de las especies dominantes para lograr tolerancia a la sequías extensas y severas asociada a El ENOS es la producción abundante de semillas, Verstraete, & Schwartz (1991). Aún, durante El Niño tanto los arbustos: *Parastrephia sp.*, *Atriplex sp.*, *Baccharis sp.*, *Fabiana sp.*, *Tetraglochin sp.*, y otras especies, como en los pastizales de gramíneas como el esporal pueden crecer, razón por lo cual logran mantenerse y sobrevivir. Más aún las microgramíneas y las pequeñas latifoliadas logran multiplicarse por sus semillas después de la lluvia. Los eventos neutros y La Niña pueden provocar lluvias más importantes durante el Monzón, ello les permite una fuerte y extensa floración que favorece la generación de un buen banco de semillas. Esta podría ser la razón por la cual ellas sean las especies dominantes en las comunidades de los distintos tipos fisiográficos y distintas familias. Cuando se hacen particiones de los resultados de NDVI por comunidad, por trimestres septiembre, octubre y noviembre (SON); diciembre, enero y febrero (DEF); marzo, abril y mayo (MAM) y se analiza por fase de El ENOS se puede observar que las precipitaciones comienzan a ser más importantes en noviembre en concordancia con el análisis de la tabla 4.2, y ocurra el retraso de la respuesta al crecimiento de la vegetación en todas las comunidades, comenzando su impacto a partir de DEF. **Figura 6.10 y Anexo NDVI Capítulo 6.** Cuando las comunidades son azonales, aquellas que se ubican en médanos y vegas, generalmente muestran menores diferencias de NDVI entre las fases del ENOS dentro del trimestre DEF. En cambio, las comunidades zonales como *Tetraglochin sp.*, *Pennisetum sp.*, *Fabiana sp.*, *Baccharis sp.* o *Parastrephia sp.*, especialmente hacia el final del verano muestran promedios más bajos de NDVI durante la fase El Niño, lo que indica que los pastores tendrán menos forraje durante el invierno. Este análisis también confirma la necesidad de producir semillas de estas especies aún durante El Niño y es una aproximación de cómo impacta la ocurrencia de este evento en la producción de biomasa y cobertura vegetal. En el capítulo 7 se confirma en la degradación de las tierras por erosión.

Es coma o punto. Si es punto el como empieza con mayuscula

El conocimiento de la dinámica de la vegetación es relevante para comprender los procesos de tierras áridas (Thomas et al. 2011), en particular aquellos asociados con la degradación de la tierra (Tchilinguirian y Olivera 2012). Aún con bajos valores de NDVI estos resultados explicarían la existencia de la teleconexión del fenómeno ENSO y las precipitaciones en la Puna, con su incidencia en la producción forrajera de las estepas y las variaciones en la cobertura del suelo, todavía no demostrada por otros autores para esta región.

6.2.4. Conclusiones del Capítulo 6. Parte 2.

Para el período analizado 2000/11 se observó una tendencia en la que las fases correspondientes a La Niña registraron valores de precipitación superiores a lo normal,

mientras que para las en fases El Niño se observó que las mismas eran inferiores a las normales.

Fue posible identificar las relaciones existentes entre la productividad de las comunidades y el fenómeno ENOS. En general las productividades fueron mayores para las diez comunidades analizadas durante las fases La Niña y menores durante las fases El Niño. Se encontraron diferencias significativas entre los valores de NDVI observados en las comunidades de Matorrales de *Parastrephia* sp, Pastizales de *Pennisetum chilense* y Vegetación de médanos entre las distintas fases del fenómeno ENOS.

Se demuestra un retraso de un mes en la respuesta NDVI para todas las comunidades vegetales de la Puna de Jujuy, como proxy de la cobertura vegetal y la productividad forrajera, acompañando los pulsos de humedad edáfica que siguen a las lluvias del verano.

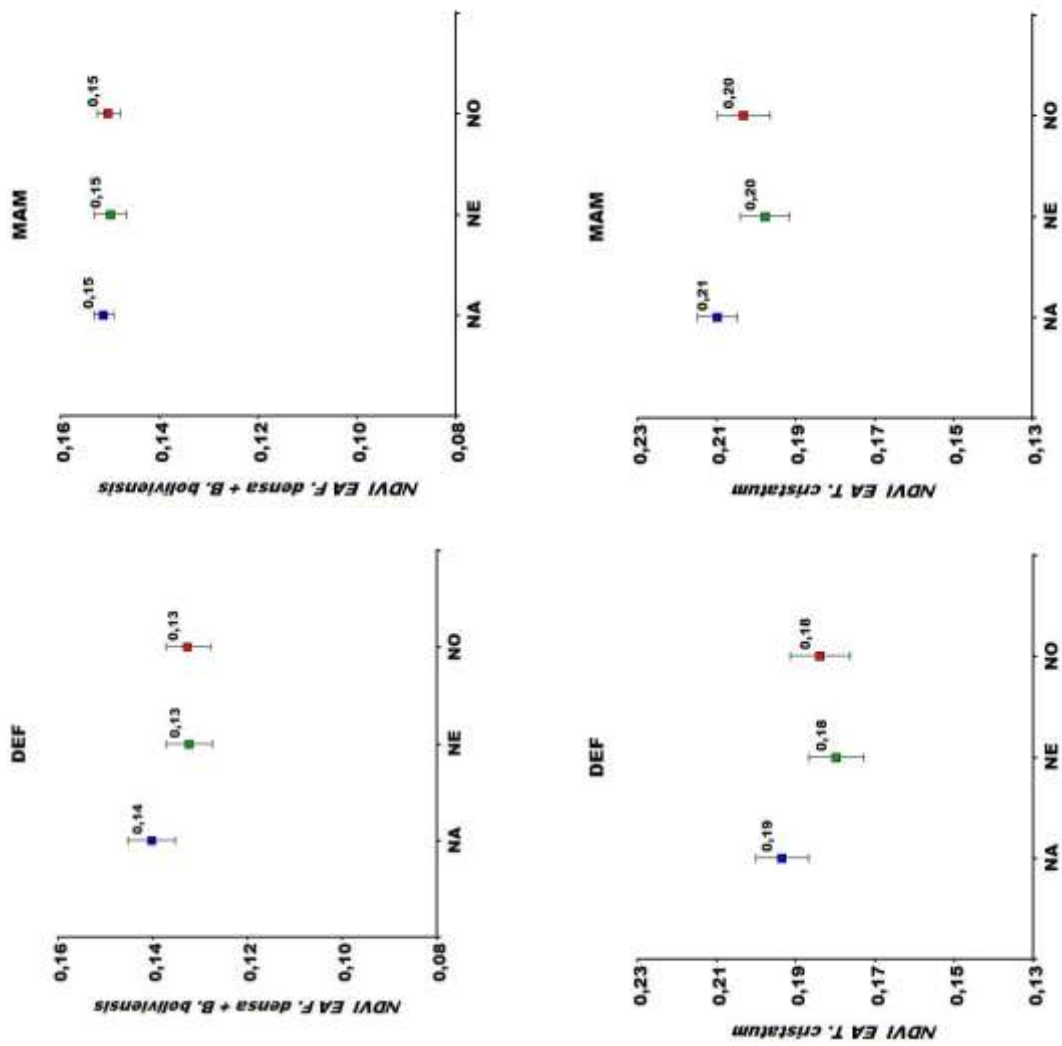
La simulación realizada para tres comunidades de bajas (Vegetación de médanos), intermedias (Pastizales de *Pennisetum chilense*) y altas coberturas (Matorrales de *Parastrephia* sp), evidencio que la diferencia de productividad entre fases LN y EN son de mayor impacto en las comunidades de elevada cobertura, las cuales son las más susceptibles a sufrir procesos de degradación de las tierras.

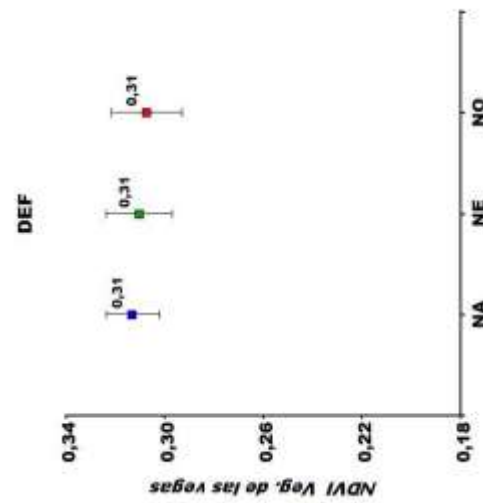
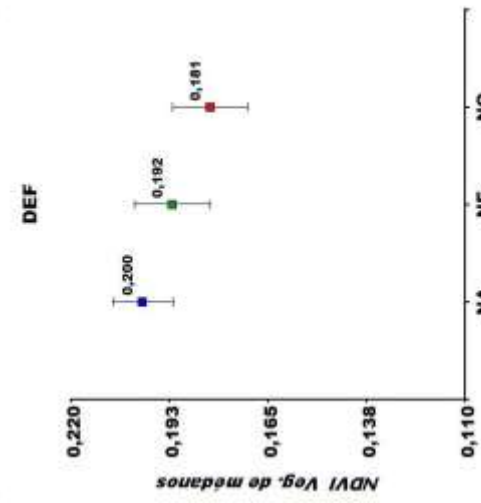
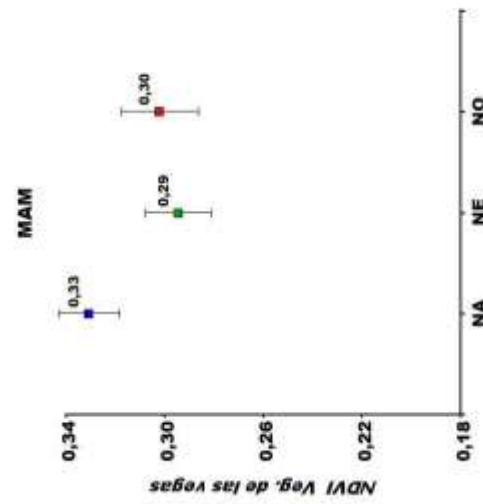
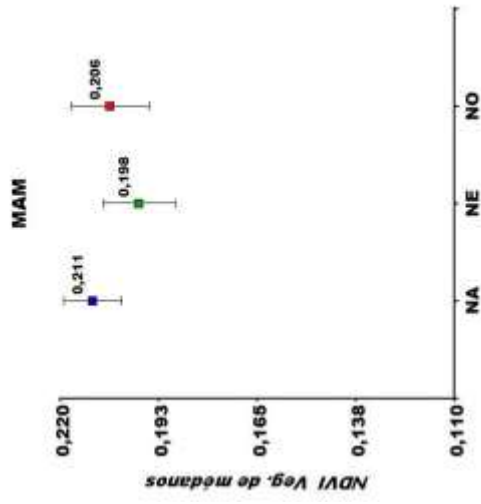
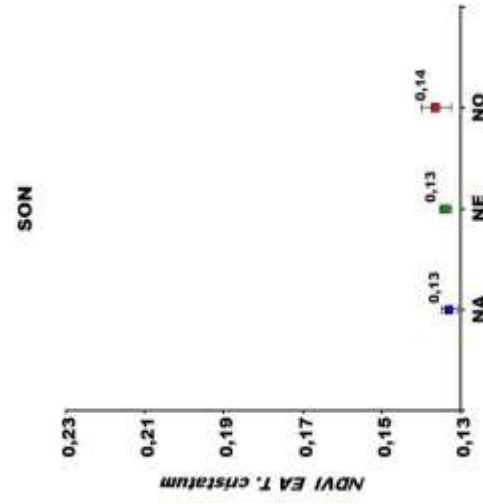
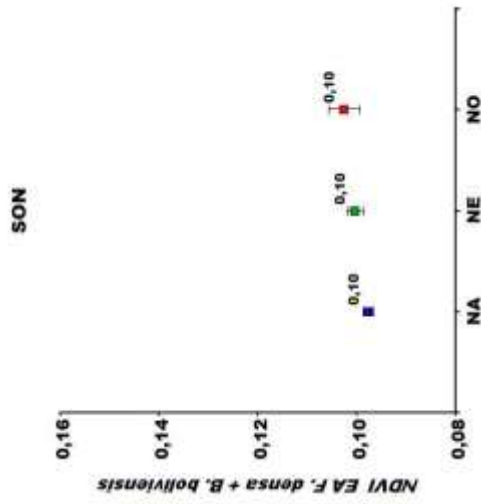
Se pudieron identificar periodos críticos en El Niño 2002/03 y La Niña 2008/09 que podrían favorecer la desertificación en todas las comunidades estudiadas, asociados a fenómenos climáticos extremos.

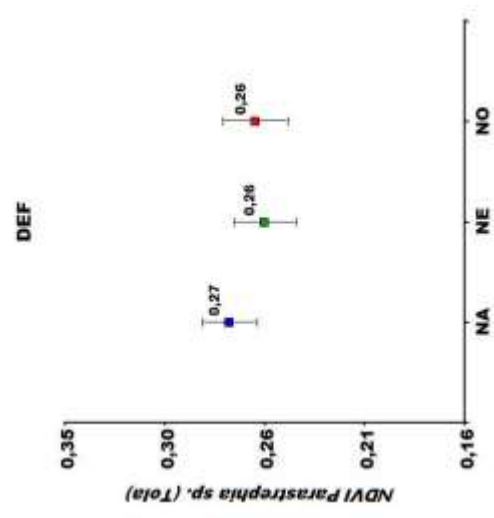
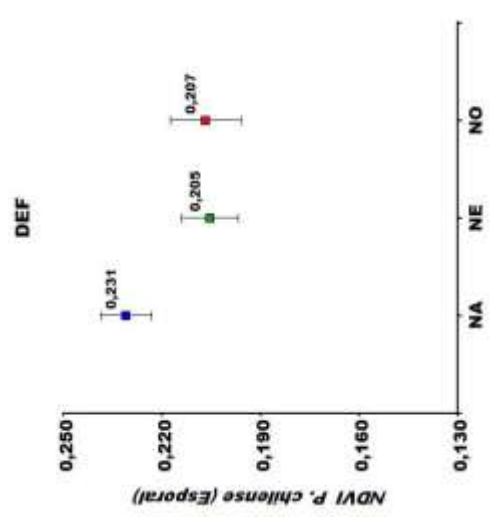
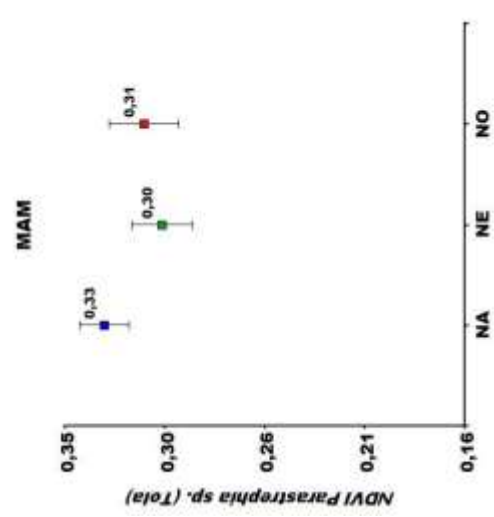
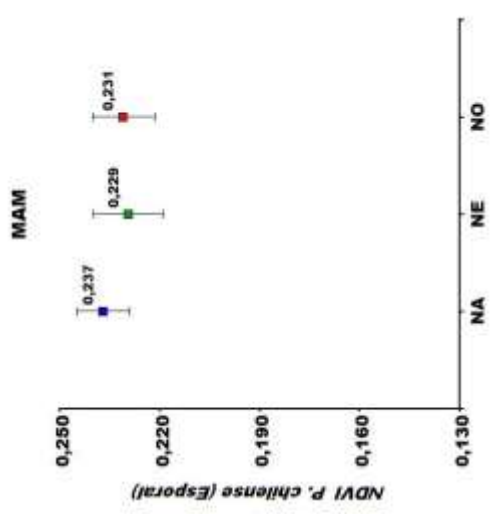
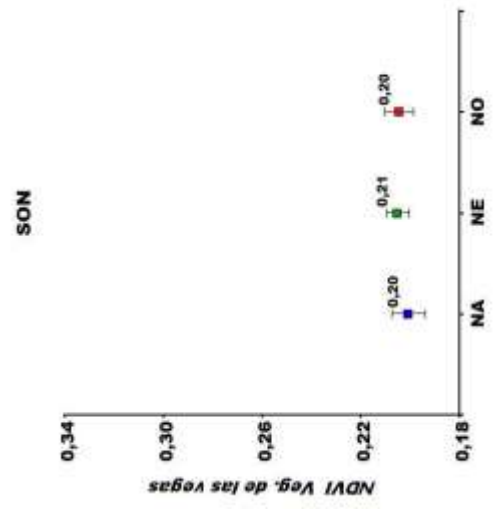
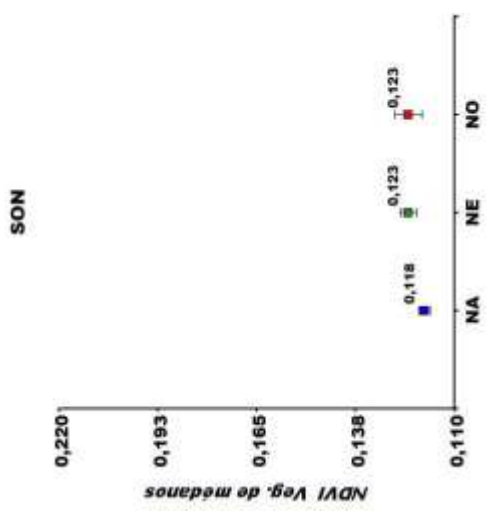
Se obtuvieron las funciones matemáticas que permiten estimar las diversas coberturas vegetales de los principales tipos fisonómicos a partir del NDVI de MODIS.

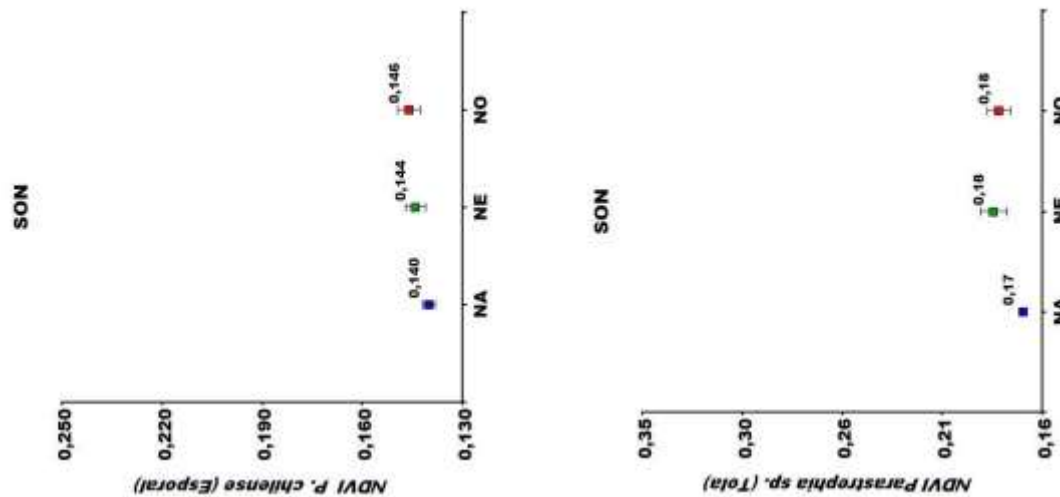
Se pudo comparar la C.V. entre fases de ENOS para distintas comunidades. Se logró establecer relaciones que permitan obtener el valor C de la USLE.

ANEXO NDVI Cap. 6. Fuente y elaboración propia.









Capítulo 7

Capítulo 7. Determinación de la magnitud de la erosión del suelo, tanto hídrica como eólica. Influencia de la fase del ENOS.

7.1. Introducción

El origen de la erosión de los suelos en la región de la Puna mayormente puede ser de hídrico o eólico. En ambos casos las características del suelo y de la cubierta vegetal juegan un rol importante.

En la erosión hídrica el factor desencadenante son especialmente las lluvias intensas. Como se ha mostrado en el capítulo 1, las lluvias del período octubre-abril están asociadas al régimen monzónico en la región tropical de América del Sur, y en particular en la Puna. La precipitación acumulada y la intensidad de los eventos que la componen dependen en gran medida de la TCP y El ENOS, como se ha visto en los capítulos 2 a 6.

Algunos investigadores han tomado el camino de la modelación matemática de la erosión hídrica. Uno de los modelos más importantes es el desarrollado por el National Soil Erosion Research Laboratory (1989). Este tipo de modelos requieren mucha información de entrada además de la pendiente topográfica, tal como ciertas características del suelo (hidráulicas, texturales, estructurales) así como de la vegetación (densidad de biomasa sobre el suelo y en el sistema radicular, profundidad de las raíces). Se han calibrado y validado en distintos sitios que cuentan con la información requerida (Soil Conservation Service, 1989).

En este trabajo, por carecer de dicha información detallada, se ha optado por aplicar el método universalmente aceptado de Wischmeier y Smith, (1978). El mismo

consiste en una ecuación empírica y tiene en cuenta, por un lado, la erosividad de la lluvia, y por otro, la erodabilidad del suelo en cuestión. Los modelos empíricos como el que desarrollaron Wischmeier y Smith, (1978) se basan en la identificación de relaciones estadísticas significativas entre las variables consideradas importantes cuando se dispone de una gran base de datos. Estos se siguen aplicando en todo el mundo cuando solo se dispone de información de pocas variables.

Por otra parte, los vientos ocurren durante todo el año, pero en invierno se dan los episodios de ráfagas más intensas. La erosión eólica ocurre mayormente durante estos episodios. Los primeros modelos para estimar la erosión eólica fueron realizados por Chepil y su grupo de investigadores quienes desarrollaron la ecuación Wind Equation. Sin embargo, en este capítulo se ha escogido la estimación de la pérdida de suelo por erosión eólica aplicando la versión revisada de la ecuación de erosión eólica (RWEQ) desarrollada por Fryrear y otros (1998). Esta decisión se fundamenta en que contempla una mayor cantidad de variables para el estudio de los efectos del clima, que la versión anterior en inglés Wind Equation (WEQ) (Buschiazzo y otros, 1999).

7.2 Erosión Hidrica

Para estudiar el impacto del fenómeno ENOS sobre la susceptibilidad de los suelos a sufrir pérdidas por erosión hídrica, en cada ambiente de estudio se estimaron los valores de pérdida potencial y real de suelo según la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo -USLE, por sus siglas en inglés. La USLE es una ecuación empírica para determinar la pérdida media anual de suelo. Es una adaptación de la ecuación desarrollada por Wischmeier y Smith (1978). Permite estimar cuantitativamente la erosión para determinadas condiciones de lluvia, suelo, relieve, cobertura y prácticas de conservación. Cuando se considera los tres primeros parámetros se alcanza la estimación de la máxima pérdida, denominada erosión potencial. Si se agregan la cobertura y las practicas específicas, se obtiene el valor de una aproximación de la pérdida real de suelo por EH. La ecuación se expresa como:

$$A=R*K*L*S*C*P$$

A: pérdida anual de suelos por unidad de superficie ($Tn. ha^{-1}año^{-1}$)

R: índice de erosividad de las lluvias ($MJ.cm. ha^{-1}h^{-1}$). Este índice representa la sumatoria de todos los valores R de un año o el promedio de todos los R de años con la misma fase y de ese modo asume una magnitud que es anual. La erosividad fue calculada para el periodo monzónico de O a A que no involucra la estación sin lluvias en la Pura. Durante el invierno la precipitación es nula todos los meses y todos los años. Dado que para que ocurra EH debe llover y que el período de lluvias está integrando todos los valores de R posibles, el valor de R anual es el mismo que el R de la estación lluviosa donde se concentra la totalidad de las precipitaciones.

K: factor de erodabilidad del suelo, surge de la comparación de la producción de sedimentos de suelos con distintas características, medidas en parcelas de escurrimiento estándar y cuyo patrón es de 22,13 m de largo, 9 % de pendiente, en barbecho y labranza continua (tierra refinada) ($Tn.h. MJ^{-1}cm^{-1}$). En la aplicación de la

USLE este factor asume valores entre 0 y 1. El valor se obtiene usando ecuaciones o nomogramas que incluyen las características del suelo más determinantes para el proceso de EH.

LS: factor topográfico, producto de los factores longitud y grado de la pendiente, también es adimensional.

C: factor de cobertura, labranzas o manejo de cosechas (uso o manejo) adimensional (0-1).

P: factor de manejo para controlar la erosión. Prácticas específicas. adimensional (0-1).

En el punto 7.2.1., se detalla la estimación de cada uno de los factores con sus respectivas ecuaciones.

Si, no hay cobertura vegetal viva o residuos secos, no se aplican prácticas de conservación específica (suelo refinado, sin cobertura y con labranza a favor de la pendiente o suelo desnudo por sobrepastoreo se alcanza la erosión máxima o potencial) entonces los factores C y P asumen valor 1 y si $LS = 1$ entonces la ecuación se transforma en:

$$A = R * K$$

R= erosividad ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$)

K= erodabilidad del suelo ($Mg \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) o ($Tn \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)

A= ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) ($Mg \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) = $Mg \text{ ha}^{-1}$. (Pérdida de suelo).

Pero como K asume valores menores que 1 por nomograma o ecuaciones que consideran las características más importantes de distintos tipos de suelos, que correlacionan con la cantidad de sedimentos recogidos de las parcelas de escurrimiento en ($Kg \text{ m}^{-2}$) y requieren un pasaje de unidades a $Mg. \text{ ha}^{-1}$.

A: asume las unidades de ($Mg \text{ ha}^{-1}$), y LS se calcula por ecuaciones o se obtiene nomogramas y el resto de los factores: C y P entre 0 y 1 documentado en manual.

En las parcelas estándar de 22m de largo y 9% de pendiente con distintas usos/prácticas: se pesa la cantidad de sedimentos recogidos en las distintas parcelas y se comparan con la cantidad de sedimentos obtenidos en la parcela de escurrimiento testigo (la peor condición: con suelo desnudo y refinado y a favor de la pendiente que es el máximo para ese suelo 1) y luego se calcula cuanto se reduce el porcentaje de sedimentos escurridos. Una vez obtenidos los datos de los factores C y P, cuyo valor se encuentra entre 0 y 1, se multiplican por la erosión potencial para definir un valor de erosión real estimada.

7.2.1 Erosividad R de Abra Pampa

Los cambios de monto e intensidad de las precipitaciones, debido a las oscilaciones climáticas y en particular el ENOS, podrían afectar la erosividad de lluvias que es el factor climático de agresividad contemplado en los modelos de erosión hídrica. Para demostrar esta afirmación se necesita obtener la función que permite estimar la erosividad de la lluvia a partir de la precipitación acumulada durante el período monzónico. Se usaron datos pluviométricos de la EE Abra Pampa de INTA que registra cada 10 minutos.

Hay algo mal escrito...no se entiende.

Estas parcelas fueron monitoreadas por vos o son parcelas tomadas de otros autores...podrás explicar mejor?

a) Separación de lluvias consideradas erosivas. El índice de erosividad R, propuesto por Wischmeier y Smith, (1978), toma en consideración sólo aquellas lluvias que superan los 13 mm.

b) Cálculo de la energía cinética total de cada lluvia erosiva (EC total): En primer lugar, se calculó EC para cada periodo de 30 minutos, tomando en cuenta la intensidad horaria de lluvia de dicho período (Behrends Kraemer, 2018).

$$EC \text{ mm}^{-1} = 0,119 + 0,0873 \log_{10} [(pp \text{ corregida en 30 min (mm)}]$$

$$(\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1})$$

Donde pp= precipitaciones en milímetros.

Luego se obtuvo por sumatoria la EC total de cada lluvia.

$$EC \text{ total (MJ mm ha}^{-1}) = \sum [(EC \text{ mm}^{-1}) * pp \text{ corregida en 30 min (mm)}]$$

$$(\text{MJ ha}^{-1}) = (\text{MJ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} * \text{mm})$$

c) Cálculo de la intensidad máxima en 30 minutos de cada lluvia erosiva (I 30): Se identificó y seleccionó la media hora en la cual la precipitación fue más intensa. Esos milímetros se introdujeron en la ecuación.

$$I_{30} = [(pp \text{ máxima en 30 min (mm)} * 2]$$

$$(\text{mm h}^{-1})$$

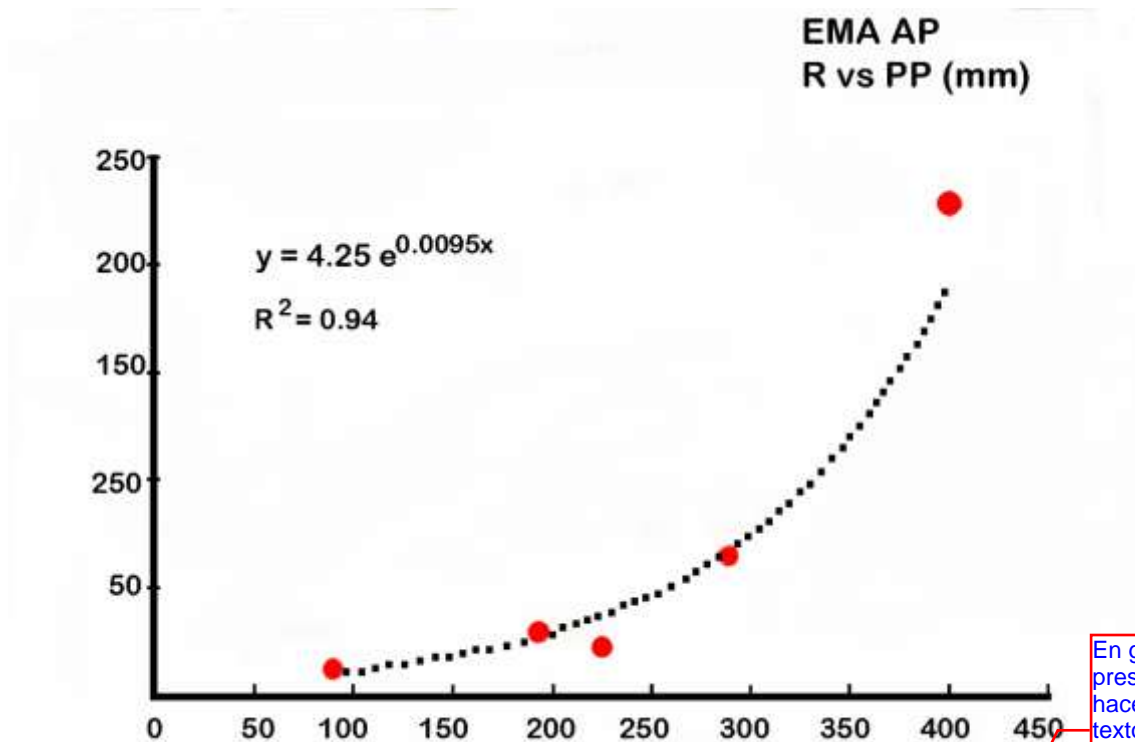
d) Se obtuvo el índice EI30 de cada lluvia mediante el producto EC x I 30.

$$EI_{30} = EC \text{ total} * I_{30}$$

$$(\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}) = (\text{MJ ha}^{-1}) * (\text{mm h}^{-1})$$

Lo pondría en a) porque ya dijiste que usarías AP pero no indicas el período.

e) Se sumó en forma anual este valor de julio a junio, lapso que incluye la estación lluviosa como se explicó en el punto 7.2., (periodo monzónico) y se utilizaron registros de la EMA (Estación Meteorológica Automática EEA INTA AP) (2013-2017).



En general cuando se presentan las figuras se hace despues del texto...porque sino venis leyendo y te encontras con una figura que no sabes que es....

Figura 7.1 Función de predicción de R a partir de las precipitaciones de la EMA de la EE INTA Abra Pampa 2013-2017 $y=R$, $x=pp$ (mm) O-A. Fuente y elaboración propia.

En el año 2013 recién la EMA de la EE INTA Abra Pampa comenzó a registrar datos de la precipitación cada 10 minutos y entoces se desarrollo la ecuación que relaciona las precipitaciones con el valor de R entre los años 2013 y 2017. Al momento de generar el gráfico se analizaron los períodos 2013/14, 2014/15, 2015/16, 2016/17 y 2017/18 correspondientes a los últimos años del total de la serie 1970-2016. Figura 7.1.

Aplicando este algoritmo a la suma de los datos de precipitación de la estación lluviosa se estimó el valor de R de toda la serie de datos 1970- 2016. Finalmente se hizo la comparación de las medias de los valores de R entre las fases del ENOS aplicando el test LSD Figura 7.2.

El Test LSD (Least significant difference) de Fisher es un test de comparaciones múltiples. Permite comparar las medias de los niveles t de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA. El Test se basa en la creación de un valor común, un umbral, basado en un test de la t de Student. Se encontraron diferencias significativas LSD $\alpha=0.1$ entre las fases El Niño y neutro, ello coincide con las menores precipitaciones durante El Niño observado en el capítulo 5. Mediante este análisis se pudo demostrar en Abra Pampa que en promedio se registra menor erosividad de las lluvias durante la fase El Niño. Siendo esta estación meteorológica muy representativa de la Puna en Jujuy (Barrera y Maggi, 2018) verificado en el capítulo 5. La fase neutra presenta una alta variabilidad tanto en esta variable como en la precipitación acumulada O-A, (ver Capítulo 3 y 4). Los cambios temporales de la intensidad de las precipitaciones

influyen en la actividad del proceso de erosión hídrica. **Figura 7.2.** Estos resultados demuestran cómo cambia el grado de agresividad de la lluvia entre los diferentes eventos.

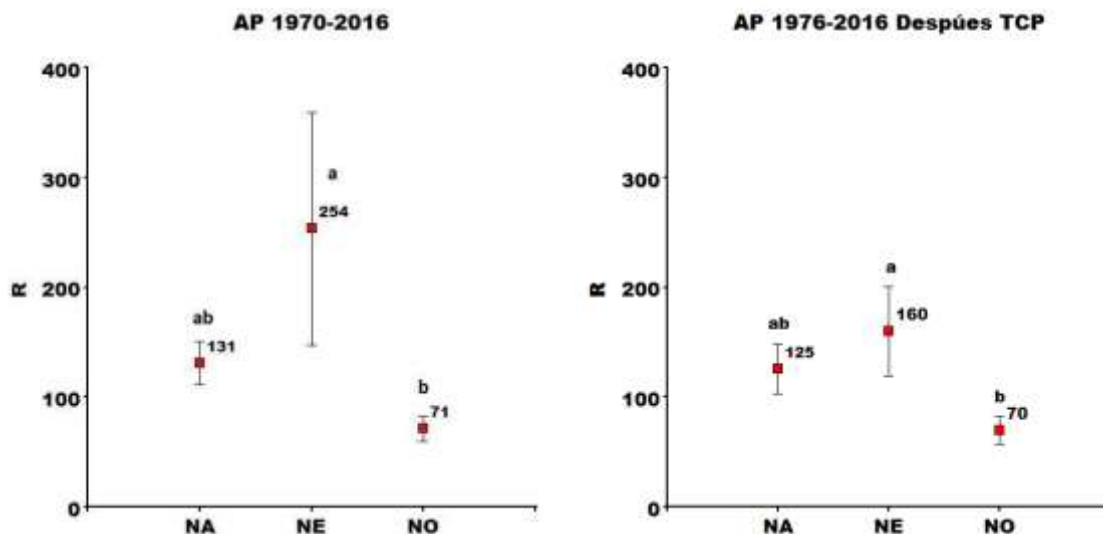


Figura 7.2. (Izq.) Relación entre R y las fases de El ENOS. Letras diferentes muestran diferencias significativas LSD definirlo $\alpha = 0.1$. (Der.) Después TCP a partir del año 1976. Fuente y elaboración propia.

No se incluyó el periodo 1983-84 neutro debido a que 651mm es una lluvia muy excepcional, y se comprobó que es un outlier. Esta función no se puede aplicar no ser representativa, ya que no hay valores similares en toda la serie. La gran extensión donde influye el fenómeno ENOS es la principal razón de las fluctuaciones de las lluvias a escala regional en Australia. La carencia de grandes cadenas montañosas hacia el interior del país también contribuye, donde el ENOS lidera como causa de la dispersión de sequías y ocurrencia de exceso de precipitaciones. En el este de Australia se localizan los cordones de montañas que dividen el interior del país de la costa. Cerca de la costa la influencia de ENOS es débil solo pueden producir lluvias locales. Verstraete & Schwartz. (1991). A diferencia de Australia el Altiplano es una amplia llanura que se encuentra rodeada por cordones montañosos. Ella sería la razón que explicaría que los montos de las precipitaciones también están influidos por otras causas de circulaciones globales y otros efectos locales. De todas maneras, está científicamente demostrado que el ENOS es el principal factor que afecta las precipitaciones como se ha probado en esta tesis capítulos 4 y 5, con sus consecuencias sobre los cambios en el comportamiento de las lagunas, la vegetación y la erosión y DT de las tierras en la Puna capítulos 6, 7 y 8.

Esto es una cita para la oración que terminas o es para la que comienza...ojo en como citas con los puntos... La cita va con y sin punto antes del parentesis. si es que pertenece a la oración que sigue.

7.2.2 Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos comparando estepas arbustivas y gramíneas representativas de la Puna de Jujuy.

A partir de esta ecuación, se evaluó la variación espacial y temporal de la cantidad de suelo perdido por erosión potencial y real, respectivamente. No se consideró el factor P, debido a que no hay prácticas específicas significativas para el control de la erosión hídrica en la zona estudiada, siendo que el uso del suelo es

fundamentalmente de ganadería extensiva acorde al potencial productivo de estas tierras. A esta escala de análisis, en la región las superficies con agricultura ocupan pequeñas extensiones y no son representativas. En el cálculo de la erosión potencial, se considera que el suelo se encuentra desnudo y para la estimación real se calcula el factor cobertura, C asume su máximo valor (1).

Para calcular los resultados de erosión potencial y real, se realizaron mapas de cada uno de los factores. A continuación, se superpusieron las capas de información y por intercepción y multiplicación de sus valores se obtuvo un mapa de erosión para cada estación lluviosa en formato raster. Se extrajeron muestras de los datos de erosión a partir de los polígonos de la capa vectorial (features/shapes) de tipos fisonómicos de vegetación representativos de estepas arbustivas y gramíneas y de esta manera se pudo realizar el análisis estadístico comparativo de la pérdida de suelo entre las distintas fases del fenómeno ENOS para cada una de ellas. Figura 7.3.

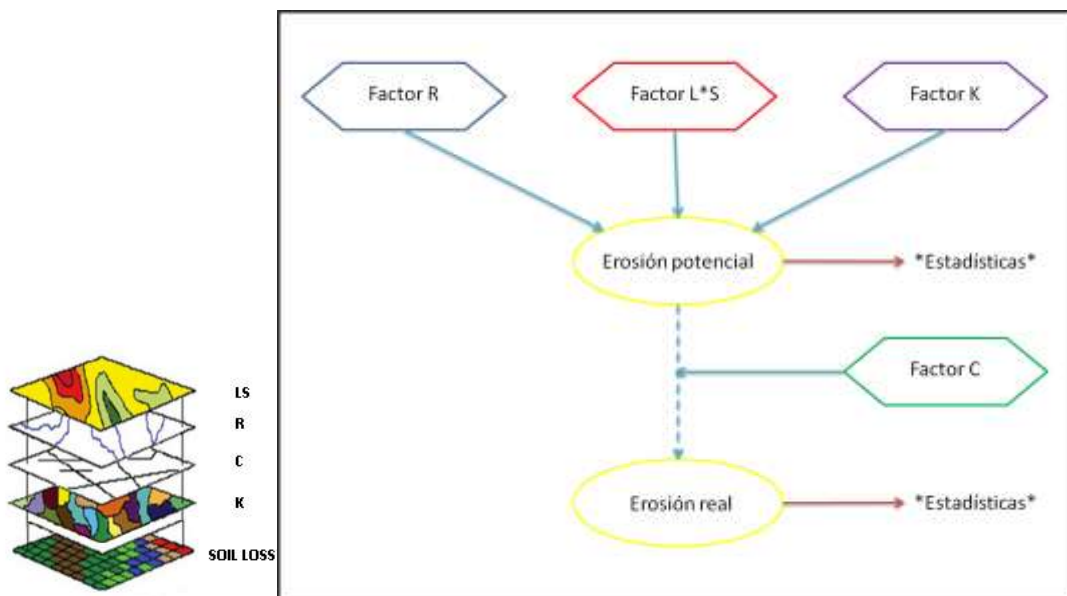


Figura 7.3. Modelo espacial de integración de los factores de la ecuación USLE. Fuente y elaboración propia.

7.2.2.1-Índices de erosividad (factor R)

El **factor R** representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión y es función de las características físicas de las mismas (intensidad, duración, velocidad y tamaño de las gotas). Wischmeir y Smith, (1978) desarrollaron una ecuación para el cálculo de este factor a partir de la energía cinética de las precipitaciones en función de su intensidad máxima. Cuando se cuenta con datos pluviográficos continuos es posible calcular el valor de la erosividad a partir de dicha ecuación, **con la que pueden construirse a partir de las fajas pluviográficas.** Actualmente la EMA permite almacenar datos en intervalos más frecuentes y es posible calcular esta variable a partir de los registros de pluviometría cada 10 minutos para un lugar puntual. Debido a la falta de una red de estaciones meteorológicas e información suficiente en nuestra área de estudio, el cálculo de este factor debe hacerse a partir de una estimación. Para determinar la mejor estimación del factor R en el Noroeste Argentino se compararon tres ecuaciones:

ya lo dijiste...

$$R = (0.037439 * P^{1.61}) \text{ (Maggi, 2002)} \quad (a)$$

$$R = 4,17 * IFM - 152 \quad (b)$$

$$\text{Log } R = 1,93 * (\text{log IFM}) - 1,52 \quad (c)$$

(IFM: Índice de Fourier Mejorado)

Las fórmulas (b) y (c) fueron utilizadas en varios trabajos: Guanca y otros (2010), Iriondo y otros (2013); Blanco Chávez (2019), Egusquiza Velasquez, (2019); y ambas son atribuidas a Arnoldus (1978).

De un análisis comparativo preliminar se concluyó que las tres ecuaciones muestran resultados similares para las regiones del centro y este del país, pero divergen en las regiones de Patagonia y el NOA. La aplicación de las ecuaciones (b) y (c), zonas donde las precipitaciones son estacionales y no cuentan con suficientes estaciones meteorológicas, el ajuste de los modelos es más difícil, y el factor R alcanza valores 10 veces superiores respecto de (a). Es por ello que, para el estudio regional, se decidió utilizar la ecuación (a), ya que los valores de R obtenidos son coherentes con lo esperado para esta zona, acercándose en magnitud a los estimados a partir de los registros de lluvias de Abra Pampa y siendo comparables a otras regiones con tierras secas de USA y Australia y con resultados similares a los posteriormente obtenidos en AP aplicando la ecuación de la Figura 7.1. Cada país debe desarrollar su propia ecuación de ajuste local y la presentada aquí es una fórmula que muestra una función similar a la publicada por otros autores tanto en Estados Unidos (Renard y Freimund, 1994) como en el sudeste de Australia (Yu y Rosewell, 1996).

El valor de erosividad se calculó en $\text{MJ.cm.m}^{-2}.\text{h}^{-1} \text{ año}^{-1}$; para cada período monzónico (de octubre a abril); debido a que corresponde al régimen de lluvias presente en esta zona de estudio.

Los datos de precipitación utilizados fueron los provenientes de las estimaciones realizadas por el Centro de Climatología de las Precipitaciones Globales –GPCP por sus siglas en inglés- que es operado por el Servicio Meteorológico Nacional de Alemania –DWD por sus siglas en alemán-. El producto utilizado fue la estimación de las precipitaciones mundiales en retículos de $0,5^\circ$ en latitud y longitud (Rudolf y Schneider (2005). Dado que esta información se publica cada 10 años, se trabajó con la serie 2001-2010.

7.2.2.2- Índice de erodabilidad (factor K)

El **factor K** representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, y depende de sus características intrínsecas. Si bien el valor de este factor no es constante en el tiempo; ya que a medida que aumenta la erosión del suelo el valor de K tiende a disminuir debido a que se pierden las partículas de arenas finas y se incrementa la proporción de material no erodable. En este trabajo se consideró un valor constante

debido al corto periodo de tiempo considerado. Este factor se estimó según la ecuación de Wischmeier y Smith (1978), modificada para ser utilizada en unidades métricas (Irurtia y otros, 2007):

$$77,4K = 2,1 * [(\% \text{limo} + \text{arena muy fina}) * (100 - \% \text{arcilla})]^{1,14} * 10^{-4} * (12 - \% \text{MO}) + 3,25(b-2) + 2,5(c-3)$$

El valor de K se expresa en (T.h.MJ⁻¹.cm⁻¹); pero al aplicar esta ecuación ya es transformado al rango 0 – 1, siendo MO el porcentaje de materia orgánica, b el grado de estructura y c la permeabilidad se obtiene de las tablas 7.1 y 7.2.

Tabla 7.1. Criterio de determinación del valor del factor b, representativo del grado de estructura del suelo.

Valor de b	Grado de estructura	Tamaño
1	Muy buena estructura. Granular muy fina	<1mm
2	Buena estructura. Granular fina	1-2mm
3	Estructura regular.	2-10mm
4	Mala estructura. Laminar o masiva	-

Fuente: Irurtia y otros, 2007.

Tabla 7.2. Criterio de determinación de valor del factor c, representativo de la permeabilidad.

valor de c	clase de permeabilidad	Permeabilidad	Textura
1	muy rápida	mayor a 12,5 cm/h	A
2	moderadamente rápida	de 6,25 a 12,5 cm/h	AF
3	Moderada	de 2,0 a 6,25 cm/h	FA
4	moderadamente lenta	de 0,5 a 2,0 cm/h	L-FL-F
5	Lenta	de 0,125 a 0,5 cm/h	FaA-aA-aL-Fa-Fal
6	muy lenta	inferior a 0,125 cm/h	A

Fuente: Irurtia y otros 2007, Wischmeier y Smith 1978.

Los datos necesarios para la estimación de este factor fueron obtenidos de distintas fuentes bibliográficas. Para conocer la clasificación de los suelos del área de estudios, en las provincias de Jujuy y Salta se utilizó el documento “Adecuación a un Sistema de Información Geográfica del estudio Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy),

Nadir y Chafatinos, 1990” elaborado por INTA y la Universidad Nacional de Salta en 2009. Los porcentajes de los distintos tipos de partículas presentes en cada suelo fueron estimados a partir de la textura hallada en la bibliografía, según los valores medios para dicha textura dentro del triángulo textural del Departamento de Agricultura de Estados Unidos USDA por sus siglas en inglés. Para la estimación del contenido de materia orgánica se utilizó la información provista por el Atlas de Suelos de la República Argentina (SAGyP, 1990). Además, se utilizaron los datos de las observaciones realizadas en la tesina de Massad, (1998).

Cuando LS y K= 1 entonces $A = R/10 = \text{Mg ha}^{-1}$ ver detalle en el punto 7.2.

7.2.2.3-Índice topográfico (factor LS)

El **factor LS**, conocido como factor topográfico, expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente. Su estimación se hizo a través de la ecuación utilizada por Van der Knijff, y otros (2000); ajustada con la ecuación establecida por Wischeimeier y Smith (1978), y modificada por FAO (1977):

$$\text{LS} = 1,4 * [(A/22,13)^{0,4}] * [(\text{sen } \beta/0,0896)^{1,3}]$$

Siendo A la contribución del área en ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$), y β el ángulo de la pendiente en (grados). La misma se ajustó con la ecuación establecida por Wischeimeier y Smith (1978), y modificada por FAO (1977). Se cambió el factor 1,4 por 1 debido a que los resultados ajustaban mejor a la realidad de nuestra zona de estudio siguiendo el criterio similar de Irurtia y otros, 2007. Con una pendiente de 5%, con los coeficientes 1 ó 1,4 los valores de LS serían 0,819 y 1,14 respectivamente.

Los datos necesarios para esta estimación fueron obtenidos a partir de un modelo de elevación digital (DEM) producido por el radar Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA, obtenido de la página <http://earthexplorer.usgs.gov/> el día 16 de abril de 2015.

7.2.2.4-Índice de cobertura (factor C)

El **factor C**, conocido como “de cobertura”, representa la proporción de pérdida de suelo en la condición de una superficie sin cobertura $C=1$. Este fue el único factor considerado en el cálculo de erosión real para la estimación de la variación temporal del efecto de la erosión hídrica, y que además se modificó significativamente con el paso de los años.

La cobertura se estimó a partir de los valores de NDVI. Estos valores corresponden al producto MOD13Q1 del sensor MODIS, con resolución espacial de 250 m y resolución temporal de 16 días. Dicho sensor se encuentra en los satélites Terra y Aqua, y obtiene una imagen de toda la superficie terrestre cada uno o dos días. El producto MOD13Q1 resulta de la selección de las mejores imágenes obtenidas a lo largo de 16 días para componer una imagen resultante de mayor calidad.

Se trabajó con dos imágenes mensuales para cada año posterior al 2001. Se utilizó el año 2000 a partir de mayo, debido a la ausencia de imágenes para los meses de enero-abril, dado que el satélite aún no registraba información. Los datos de NDVI obtenidos fueron promediados mensualmente y traducidos a cobertura (factor C) a partir de la relación establecida por Van der Knijff, y otros (2000) en Soil erosion risk assessment in Europe según la siguiente ecuación:

$$C = \exp [-\alpha \cdot (\text{NDVI}/(\beta - \text{NDVI}))] \text{ (Van der Knijff y otros 2000)}$$

Donde $\alpha = 2$ y $\beta = 1$ son parámetros que determinan la forma de la curva que relaciona el NDVI con el factor de cobertura C.

7.2.2.5 Análisis comparativo de erosión hídrica en dos estepas entre fases de El ENOS.

En cercanías de la Laguna de Pozuelos (Jujuy) entre los 22° 00' 49.19" y 22° 40' 51.03" de latitud Sur y los 65° 59' 40.65" y 66° 06' 44.32" de longitud Oeste, se estimó el valor de pérdida de suelo de cada pixel para cada periodo monzónico. Así se obtuvo una capa raster (imágenes formadas por filas y columnas con valores representados por pixeles georreferenciados) por estación lluviosa. Se obtuvieron tres imágenes raster corresponde a cada una de las fases de El ENOS (EN, Neutra y LN) que provienen del promedio de capas de EH real de la misma fase. Finalmente se realizó una comparación de medias.

Se realizaron recortes de aproximadamente 700 píxeles en las zonas en las que efectivamente estaba presente una comunidad de gramíneas y otra arbustiva representativas de la Puna Tabla 7.3.

Los valores de erosión estimados para ambos tipos de estepas fueron comparados a partir de un Análisis de la Varianza. Se buscó caracterizar la variabilidad de la erosión real. Ambos ANOVAs se realizaron para años El Niño, La Niña y Neutro, para determinar si existen diferencias entre tipos fisonómicos cuando cambian las condiciones ambientales por acción del ENOS.

Tabla 7.3. Comunidades de tipos fisonómicos de estepas de gramíneas y arbustiva representativos de la Puna. Análisis estadístico de los resultados de la ecuación USLE. Fuente y elaboración propia.

Laguna de los Pozuelos Jujuy	
Comunidad arbustiva A	<i>Parastrephia sp.</i>
Comunidad gramínea G	<i>Pennisetum chilense</i>

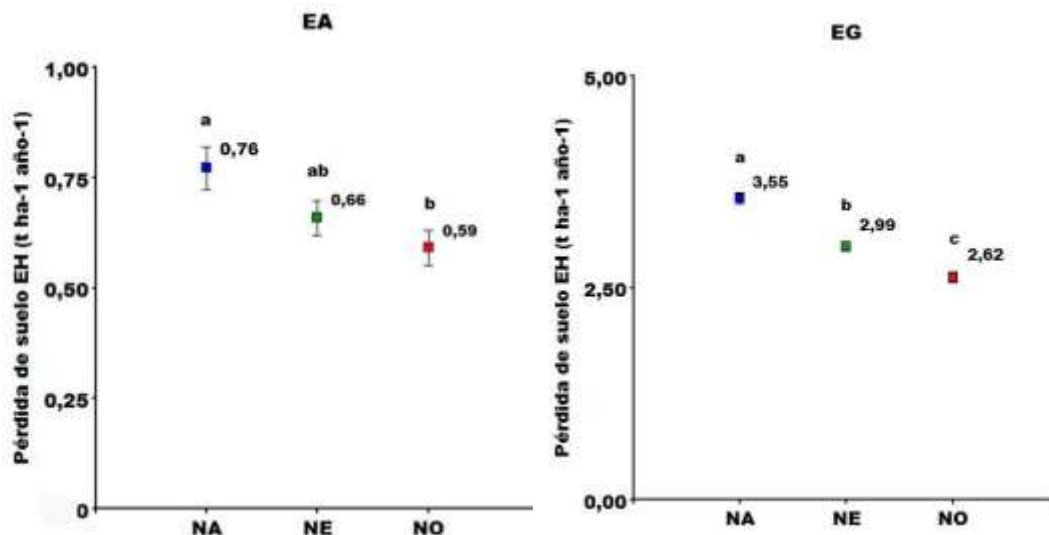


Figura 7.4. Pérdida de suelo por erosión real en Jujuy según las fases del ENOS. Distintas letras indican diferencias significativas entre medias de fases del ENOS dentro de cada comunidad vegetal. EA: estepa arbustiva EG: estepa gramínea. Las barras grafican el error estándar (α : 0.05). Fuente [y](#) elaboración propia.

En ambas estepas se observan diferencias significativas en pérdidas de suelo estimadas entre las fases opuestas de El Niño y La Niña. Figura 7.4. Estas comunidades vegetales son de las que poseen mayor cobertura de suelo. Sin embargo, los incrementos de crecimiento y biomasa, que pueden generar debido a las mayores lluvias, no son suficientes para atenuar el aumento en la erosividad de las lluvias y lograr la protección del suelo en las fases con mayores precipitaciones. Este análisis comprueba que eventos opuestos como La Niña y El Niño ocasionan diferentes cantidades de pérdidas de suelos por erosión hídrica en ambas comunidades.

7.3. Erosión Eólica. RWEQ

En primer lugar y de la misma manera como se estudio el proceso de erosión hídrica se analizó el factor climático por separado, ya que este mantiene una relación directa con las oscilaciones del clima.

Para su estimación se utilizó la RWEQ como fuera expresado en la introducción, fueron utilizados datos diarios obtenidos desde 1970 hasta la actualidad, en dos localidades de Jujuy: La Quiaca y Abra Pampa En la Figura 7.5 se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas. Se estimó la erosividad del viento debida al factor climático para períodos anuales julio-junio, para incluir el régimen monzónico de precipitaciones en el mismo ciclo, ya que no solamente se requieren elevadas velocidades de viento para que se dispare este proceso, sino que también es necesario un bajo contenido de humedad en el suelo.



Figura 7.5. Mapa de ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas de La Quiaca y Abra Pampa. Fuente: Fuente: Google Earth y datos de coordenadas de las estaciones meteorológicas SMN y EEINTA AP. Elaboración propia.

La RWEQ calcula la erosión del suelo (E) en toneladas por hectáreas y es función de 5 factores provenientes de la WEQ, el índice de erodabilidad del suelo (I), el factor de rugosidad (K), el factor longitud del terreno en la dirección prevaleciente de los vientos (L), la cobertura vegetal (V) y el factor climático local (C).

$$E = f(I', K', C', L', V)$$

En este capítulo nos enfocamos únicamente en comprender como influye las variaciones temporales, en particular entre las distintas fases de El ENOS, en la estimación del factor climático de la erosión eólica. Para calcularlo se requieren datos de la velocidad del viento, temperatura media del aire, radiación solar y las precipitaciones. Los datos meteorológicos provienen del INTA sistema SIGA, para Abra Pampa y al Servicio Meteorológico Nacional para La Quiaca. Mientras que los datos de radiación fueron obtenidos del Grupo de Estudios de la Radiación Solar de la Universidad Nacional de Luján (GERSolar). Se aplicaron las ecuaciones siguiendo los procedimientos propuestos en el trabajo de “Erosión eólica: procesos y predicción” de Buschiazzo & Aimar (1999).

$$WF = Wf (\rho/g) (SW) SD$$

Dónde:

WF = factor tiempo, kg.m^{-2} .

Wf = factor viento, $(\text{m.seg}^{-1})^3$.

ρ = densidad del aire, kg.m^{-3} .

g = aceleración de la gravedad, m.seg^{-2} .

SW = humedad del suelo, adimensional.

SD = factor cobertura.

La ecuación se aplicó considerando dos situaciones, la de máximo potencial de erosión del viento, usando la velocidad máxima diaria del viento, considerada como conservacionista (Co), y una segunda estimación con el valor medio diario del viento, medidos a 2 metros de altura siendo menos fiel a los eventos extremos denominada como no conservacionista (NCo). La velocidad umbral propuesta por Buschiazzo es de 5 m.s^{-1} y se considera que, por debajo de esa velocidad, el suelo no se estaría erosionado. La estimación de las velocidades del viento con potencial de erosionar, se calcularon a partir de la siguiente fórmula.

$$W = \sum_{i=1}^N U2 * (U2 - Ut)^2$$

W = valor del viento $(\text{m.s}^{-1})^3$.

U2 = velocidad del viento a 2 metros, (m.s^{-1}) .

Ut = velocidad umbral del viento a 2 metros (se asume 5 m.s^{-1}).

N = número de observaciones de velocidad del viento (i) en un período de tiempo de 1-15 días.

El factor viento (Wf) se determina dividiendo por 500 el valor del viento (W), calculado para cada período de 15 días, y se multiplicó luego por el número de días del período considerado.

$$Wf = (W/500) * Nd$$

Dónde:

Wf = factor viento $(\text{m.s}^{-1})^3$.

W = valor del viento $(\text{m.s}^{-1})^3$.

Nd = número de días en el período.

La humedad de la superficie tiene influencia en la velocidad del viento requerida para erosionar el suelo. La permanencia de la humedad en la superficie del suelo depende de la demanda de evaporación por parte de la atmósfera, siendo el factor:

$$SW = ((ETp - (R + I) (Rd/Nd))/ETp$$

Dónde:

SW = factor humedad de suelo.

ETp = evapotranspiración potencial relativa, (mm).

Rd = número de días con lluvia y/o número de días con riego.

R + I = lluvias e irrigación, (mm).

Nd = número de días (15).

El sistema de producción regional se basa fundamentalmente ganadería de trashumancia, se considerará que no se aplican riegos y entonces I asume el valor 0. Este modelo utiliza la ecuación obtenida por Samani y Pessarakli (1986) para el cálculo de la evapotranspiración:

$$ET_p = 0.0162 * (SR/58.5) (DT + 17.8)$$

Dónde:

SR = radiación solar total para el período considerado, cal.cm⁻².

DT = temperatura promedio, °C.

Finalmente, el factor de cobertura SD, refiere a la cobertura con nieve. En esta región no se presentan nevadas intensas habituales, por lo tanto, el valor considerado será igual a 1.

A partir de los datos de registros diarios de temperatura, precipitación, radiación y viento del SMN desde el año 1970 hasta el 2016 se calculó el factor WF de La Quiaca. Posteriormente se realizó una comparación de medias entre fases del fenómeno ENOS. Aun cuando no se verifican diferencias significativas en este parámetro, que marca la fuerza erosiva del viento, el mismo es mayor en la fase El Niño que suele corresponder a años más secos. Este resultado indicaría una mayor amenaza a la erosión eólica durante esa fase. Figura 7.6.

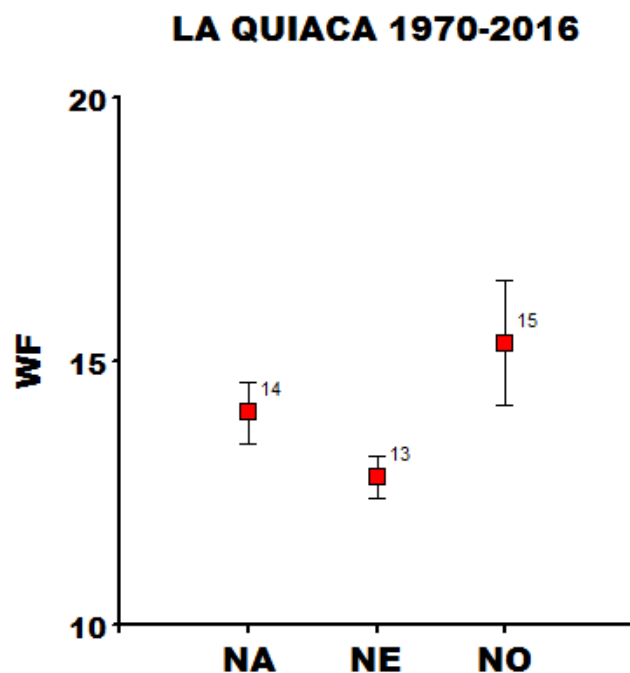


Figura 7.6. Relación entre ENOS y WF en La Quiaca. Fuente y elaboración propia.

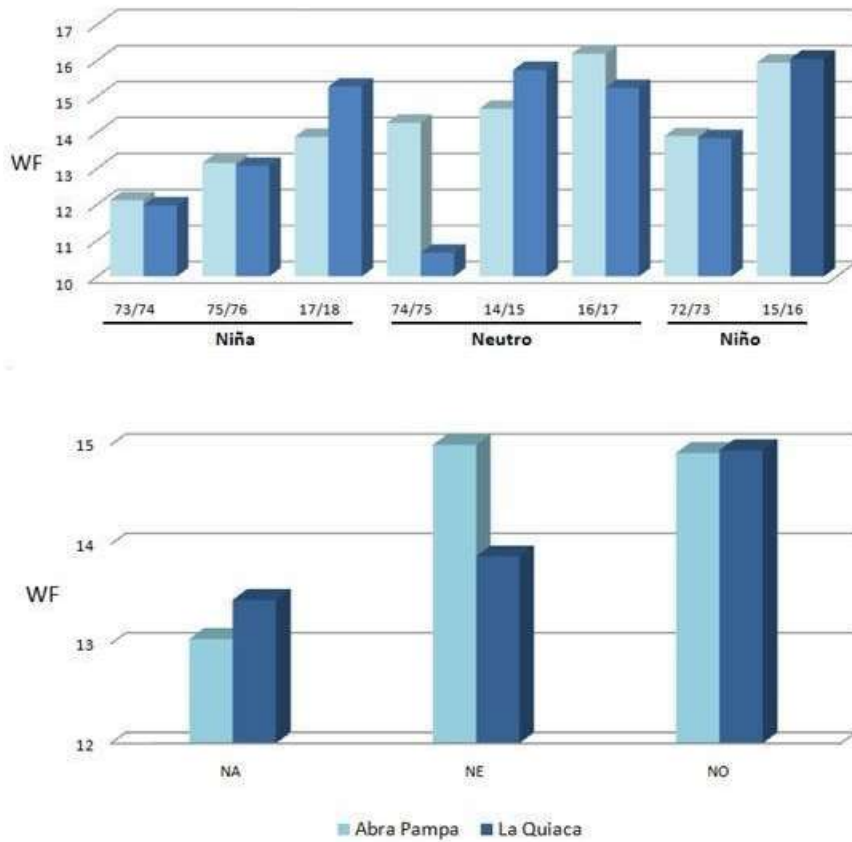


Figura 7.7. Comparación de WF velocidad media entre estaciones meteorológicas de AP y LQ. en kg.m^{-1} . La agresividad climática WF en función de las fases del ENOS a partir de las velocidades medias del viento. Fuente: elaboración propia.

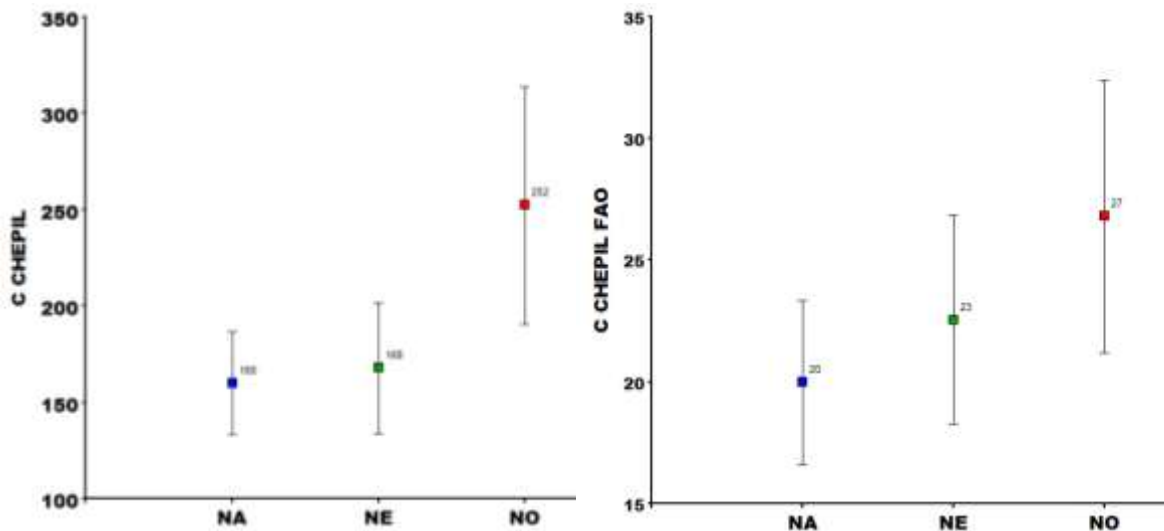


Figura 7.8. Valores promedio del factor C Chepil y el C modificado por FAO, y el error estándar entre las distintas fases del ENOS. Estación meteorológica de La Quiaca período 1970-2016. Fuente y elaboración propia.

Lamentablemente en Abra pampa no hay información de viento disponible para todos los años, pero sus valores de WF son similares en magnitud con los de La Quiaca para los mismos periodos. Figura 7.7. con excepción del periodo 1974-75 por outlier.

Por otra parte, se calculó el Factor C es el factor climático usado en la ecuación de erosión eólica WEQ propuesta originalmente por Chepil y el método de Chepil modificado por FAO (FAO, 1984) para evaluar la congruencia entre los datos obtenidos con la RWEQ y esta ecuación, que consiste en:

$$C = \frac{1}{100} \sum_1^{12} U^3 ((ETP - P)D)$$

Siendo, U la velocidad media mensual del viento a 2 metros de altura, ETP es la evapotranspiración potencial estimada por el método de Thornthwaite, P precipitación mensual y D, número de días del mes.

Para comparar el factor WF entre localidades, se utilizó la velocidad del viento media diaria, de acuerdo a la disponibilidad de datos. En la localidad de La Quiaca, al disponer de datos de velocidades máximas de viento que expresaría el peor escenario, éstos fueron utilizados para la estimación del factor WF (RWEQ), para la comparación entre la aplicación de velocidad media o máxima, y para realizar un análisis de tendencia para casi 50 años de datos anuales y por década, dentro de cada década del factor WF obtenido por RWEQ.

Tabla 7.4. Resumen estadístico C Chepil y C chepil FAO LQ 1976-2016 n número de casos, CV coeficiente de variación, ee error estándar. Q3 tercer cuartil, P (90) y P (95) percentil 90 y 95. Fuente y elaboración propia.

FASE LQ	Variable 1976-2016	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín.	Máx.	Mediana	Q3	P(90)	P(95)
NA	C CHEPIL FAO	11	22	13	4	61	10	54	16	27	37	54
NE	C CHEPIL FAO	16	24	19	5	78	6	60	16	27	55	60
NO	C CHEPIL FAO	13	28	22	6	77	5	63	18	53	60	63

FASE LQ	Variable 1976-2016	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín.	Máx.	Mediana	Q3	P(90)	P(95)
NA	C CHEPIL	11	175	107	32	61	74	413	146	242	303	413
NE	C CHEPIL	16	181	149	37	82	38	451	120	312	437	451
NO	C CHEPIL	13	256	240	66	93	57	957	187	285	457	957

Luego, se procedió a relacionar los resultados obtenidos de los factores WF y C, con las fases del ENOS. La identificación de las mismas, se hizo considerando las investigaciones de Barrera y Maggi (2018), Se realizaron análisis de varianza para comparar el factor C calculado (RWEQ y Chepil/FAO), entre las distintas fases del ENOS, con datos de la estación meteorológica de La Quiaca. Si bien no se encontraron diferencias significativas, se verifica en general un incremento del valor C durante El Niño. Los resultados del factor de C de Chepil y el modificado por FAO, aunque no presentan diferencias significativas entre fases Tuckey alfa 0.05, muestra que los valores de las medias siguen en forma creciente y de esta manera NA<NE<NO. Los resultados fueron analizados utilizando el paquete estadístico de Infostat (Di Rienzo, 2009). De acuerdo a estos resultados se incrementaría la agresión del clima a la degradación de las tierras durante El Niño en los suelos más frágiles a la erosión eólica. Además, coinciden los valores mas altos de WF con las menores precipitaciones durante El Niño. Ver Tablas 7.4. y 7.9. y la Figura 7.8.

La escasa cobertura vegetal en la Puna y la alternancia de eventos El Niño y La Niña con mayor erosión eólica e hídrica respectivamente, pueden favorecer la desertificación disminuyendo la superficie con aptitud forrajera. Esta afirmación será demostrada en el próximo capítulo.

Análisis regional y relación entre fases ENOS.

Debido a la discontinuidad de los registros de datos, particularmente de velocidad del viento en Abra Pampa, la comparación regional con localidad de La Quiaca fue realizada únicamente con los años en que ambas estaciones disponían de datos diarios, ver columna período de la Tabla 7.5. La tabla muestra los resultados obtenidos de WF media por período y por fase del ENOS, en las estaciones meteorológicas de La Quiaca y Abra Pampa.

Tabla 7.5. Comparación entre resultados de WF media, entre localidades de Abra Pampa y La Quiaca, por período y promedio por fase de El ENOS. Fuente: propia.

Período	ENOS	Abra Pampa		La Quiaca	
73/74	NA	12,12	13,05	11,97	13,44
75/76	NA	13,15		13,08	
17/18	NA	13,88		15,28	
74/75	NE	14,27	15,04	10,66	13,88
14/15	NE	14,66		15,74	
16/17	NE	16,19		15,24	
72/73	NO	13,90	14,92	13,84	14,95
15/16	NO	15,94		16,05	

En la Figura 7.7., se comprueba que en ambas localidades la tendencia de los resultados de la agresividad climática es similar para AP y LQ, con una anomalía en el período 74/75 en La Quiaca, resultando significativamente menor. A su vez podemos observar que la mayor agresividad del clima para la EE se da justamente en la fase EN, dado que, al haber menores precipitaciones, siempre que la velocidad del viento supere el umbral de 5 m.s⁻¹, se iniciará la erosión eólica. En los días en que las precipitaciones son mayores a la evapotranspiración, y el balance hídrico resulta

Falta la figura 7.6 7.7 y 7.8...

positivo, la ecuación adquiere valores más bajos y el suelo no se erosionara. Este comportamiento se verifica en La fase LN y se explica debido a que la humedad del suelo mantendrá las partículas de suelo más unidas y estables.

Tendencia temporal de la agresividad climática en La Quiaca.

Se realizó un análisis de la tendencia temporal de la agresividad climática de la erosión eólica estimada mediante la RWEQ que se muestra en las Figuras 7.9 y 7.10. El eje "x" representa la línea de tiempo, mientras que el eje "y" representa WF (Kg m^{-1}), que representa el factor climático medido en Kg de suelo perdido por metro cuadrado y por período. La estimación fue realizada para períodos de 15 días, y luego se sumaron los períodos anuales, que fueron tomados del 1 julio del primer año, al 30 de junio del año siguiente con el objeto de tener en cuenta el régimen de las precipitaciones. Esta estimación no había sido realizada anteriormente para esta región y para una serie temporal tan extensa.

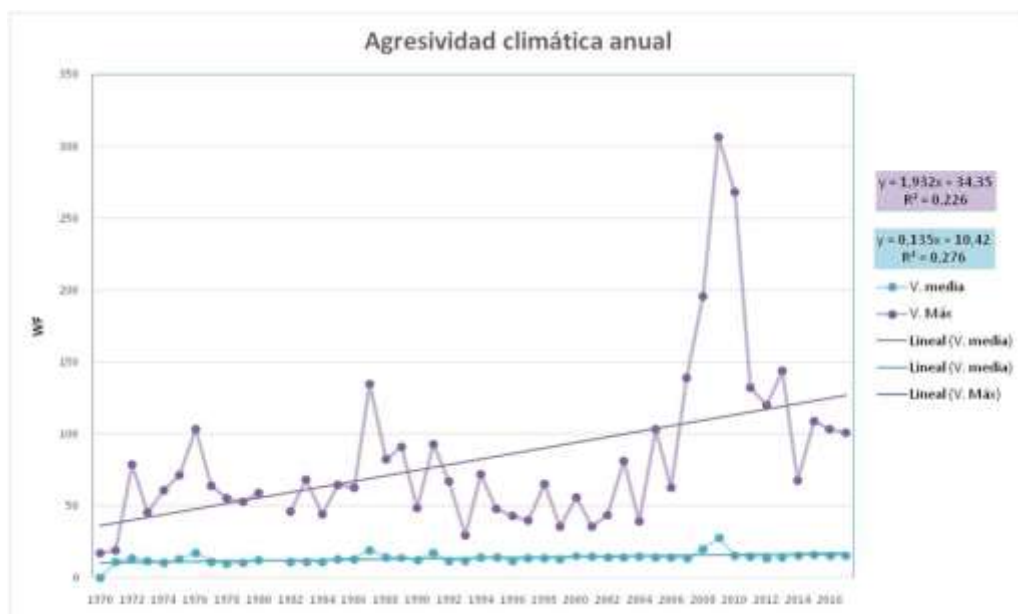
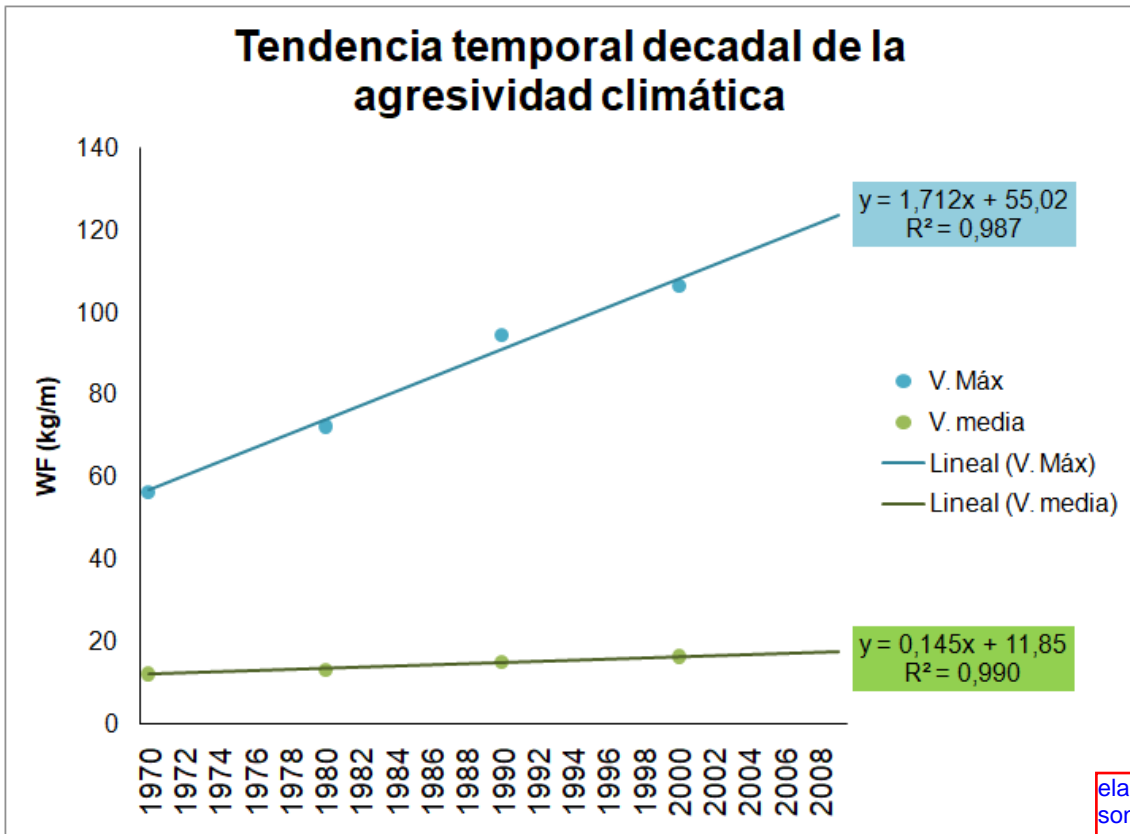


Figura 7.9. El gráfico muestra la tendencia temporal anual de la agresividad climática del modo conservador, y del modo no conservador. Fuente: propia.

Va entre parentesis al final...(Fig. 7.9).

Se estimó el factor climático de un modo más conservacionista del suelo (C_o) utilizando la velocidad máxima diaria del viento, como también no conservacionista (NCo) tomando la velocidad de la media diaria del viento, esta última no muestra la agresividad extrema del clima y suaviza el riesgo real. Ambas velocidades fueron registradas a 2 metros de altura sobre el nivel del suelo. Figura 7.9.

Debido a la existencia de una gran variabilidad entre los sucesivos periodos anuales monzónicos, y para evitar estas oscilaciones, se simplifica el ajuste de la ecuación lineal y las observaciones, promediando los resultados obtenidos de WF en períodos decadales.



elaboración, los datos son tuyos???, ponelo como en los otros...elaboración propia o elaboración propia del autor.

Figura 7.10. Tendencia décadas de los promedios de WF por década usando velocidad máxima y media del viento. El gráfico muestra la tendencia temporal de la agresividad climática decadal estimada del modo Co y NCo. Fuente: **propia**.

Se demuestra en ambos casos una tendencia creciente de la agresividad del clima, con un crecimiento lineal de la pérdida de suelo. La pendiente es de 1.71 para el cálculo con velocidad máxima y 0.14 para velocidad media, ambos con una bondad de ajuste del 99%. Considerando el promedio por década, el primer caso duplica su valor en menos de 40 años, mientras que en el segundo hay un aumento de 6 unidades. Este análisis de tendencia crecimiento de WF podría incluirse en futuras investigaciones para probar si es causada por el cambio climático. **Figura 7.10.**

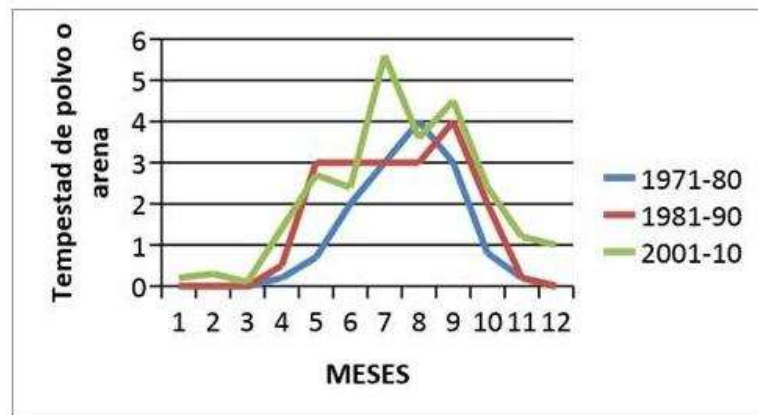


Figura 7.11. Distribución de frecuencias de tormentas de polvo o arena por mes y década. Fuente: Datos Estación Meteorológica convencional de La Quiaca. Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Elaboración propia.

En la Figura 7.11, se destaca que para la localidad de La Quiaca las mayores frecuencias de tormentas de polvo se producen en invierno y principios de primavera, independientemente de la década escogida. Este es el lapso con fuertes vientos, el cual coincide con una baja cobertura vegetal ya que recién en octubre comienza el período de lluvias. La cantidad de tormentas de polvo se incrementan hacia la década 2001-10 y esto coincide con la tendencia creciente de WF máxima. **Figura 7.10.** Investigaciones realizadas en Irán demuestran que la precipitación y las variaciones de la velocidad del viento en la superficie fueron los factores más importantes para la ocurrencia de tormentas de polvo entre el 2008 y 2014. Ebrahimi Khusfi, y otros (2019). Estas variables coinciden con el incremento de WF y el número de tormentas de polvo en la década 2001-2010 en la Puna.

Análisis de la tendencia por década y comparación entre fases del ENOS de WF calculada con V máxima, en La Quiaca.

Los resultados obtenidos en el punto anterior, han demostrado diferencias entre décadas y una tendencia creciente de la agresividad climática WF en el periodo 1970-2010, también se llevó a cabo un análisis de tendencia de los valores calculados dentro de cada década, para WF calculada con velocidades máximas de viento, y se agregó la comparación de medias entre las fases del ENOS. **Figura 7.10.**

En el período 1970-2018 fue aplicado el test de medias de WF entre fases de El ENOS con ANOVA Tuckey 0.05. No hay diferencias significativas en ninguna década en particular. Cuando se analizan las tendencias dentro de cada década, distinguimos que en las décadas cuando la tendencia temporal de la erosividad del clima se incrementa, las diferencias entre fases son menores. Mientras que, si la tendencia de WF dentro de la década permanece más estable, entonces aparecen diferencias de WF entre fases. Los años dentro de las décadas del 70 y 90 el factor WF se mantiene más estable sin tendencia creciente, pero los valores promedios de WF entre las diferentes fases de ENOS expresan mayores diferencias y viceversa, en las décadas del 80 y 2000 se verifican resultados opuestos. **Figura 7.12.** y tablas 6 y 8. El hallazgo de un aumento temporal de la fuerza del clima en la erosión eólica para La Quiaca podrá utilizarse en investigaciones futuras como una posible consecuencia del cambio climático.

Tabla 7.6. ANOVA WF máximo vs ENOS. Test de Tukey, Alfa: 0,05. Estimado con velocidad máxima. (*Indica que faltan datos de algún año) ee error estándar. Fuente y elaboración propia.

Década	Media V. máx.	n	ee	ANOVA Tuckey 0.05
1970	56,55	10	16,11	a
1980*	72,35	9	16,98	a
1990	53,96	10	16,11	ab
2000	106,23	10	16,11	ab
2010*	130,6	8	18,01	b

Cuando comparando entre décadas y utilizando como variable dependiente WF (V, Max) y variable de clasificación las décadas, se alcanzaron diferencias significativas entre las décadas de 1970 y 1980 respecto de la de 2010. ANOVA, test de Tuckey, confianza del 95%. **Tabla 7.6.**, lo que confirma la tendencia creciente de WF (V, Max).

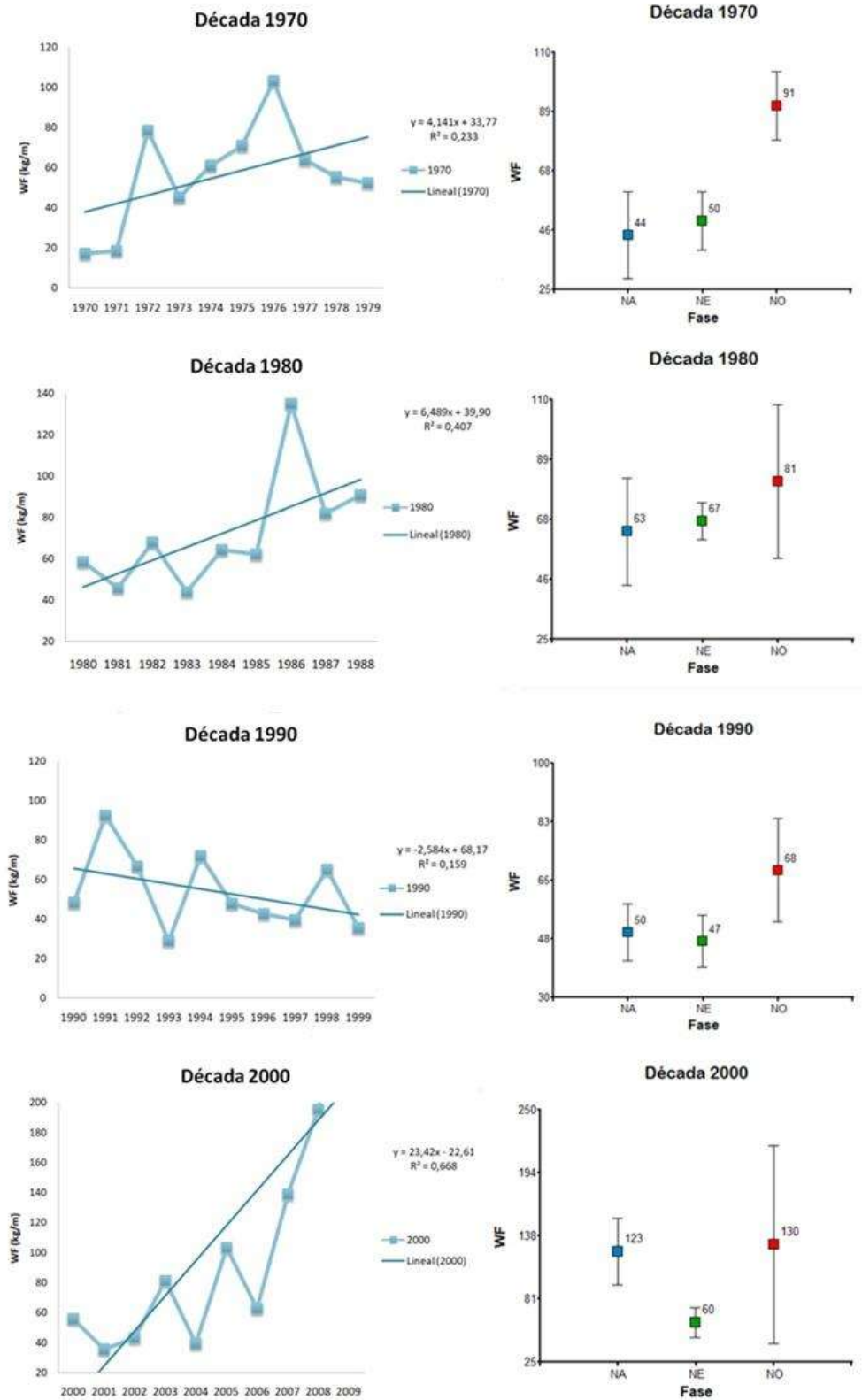


Figura 7.12. WF máxima vs El ENOS y tendencia por década. Resultados de las tendencias temporales dentro de cada década, y resultado de la media para cada fase. Estimado con V. máxima. Las Figuras de puntos con error estándar 0.05. Fuente y elaboración propia. 1970-2010.

Tabla 7.7. Resumen estadístico WF viento máximo vs El ENOS por década y todo el periodo 1970_2018. n número de casos, CV coeficiente de variación, ee error estándar. Fuente y elaboración propia.

Década	Fase	n	Media WF V. Máx. (kg m ⁻¹)	ee	CV	mín.	máx.
1970	NA	3	44,44	15,57	60,68	17,08	70,99
1970	NE	5	50.13	8.14	36.33	18,58	63,82
1970	NO	2	90,77	12,26	19,1	78,52	103,03
1980	NA	2	63,18	18,93	42,38	44,24	82,11
1980	NE	4	70.42	7.09	20.14	58.52	90,87
1980	NO	3	81,04	27,30	58,35	46,04	134,84
1990	NA	3	49,52	8,52	29,79	35,63	65,00
1990	NE	4	46,75	7,83	33,51	29,05	66,87
1990	NO	3	67,99	15,41	39,26	39,55	92,50
2000	NA	4	123,37	29,48	47,80	55,80	195,59
2000	NE	3	59,81	13,26	38,41	35,54	81,22
2000	NO	3	129,79	88,49	118,09	39,33	306,76
2010	NA	3	167,07	51,65	53,55	100,49	268,76
2010	NE	4	108,76	16,14	29,67	67,36	144,16
2010	NO	1	108,49	0,00	0,00	108,49	108,49

Fase	n	Media WF V. Máx. (kg m ⁻¹)	ee	CV	mín.	máx.	Mediana WF V.Máx. (kg m ⁻¹)
NA	15	93.53	17.42	72.13	17,08	268.76	70.99
NE	20	66.69	6.71	44.96	18,58	144.16	63.26
NO	12	93.88	21.28	78.53	39.33	306.76	75.22

Si comparamos el valor promedio de WF (V, Max) entre EN y LN para el período 1970_2018 si bien ambos poseen valores similares de 93 kg.m⁻¹, cuando miramos los extremos el valor de EN min duplica al de LN mín. y el valor de EN máx., supera en 38 kg.m⁻¹ al de LN máx. Tabla 7.7. Este análisis más detallado indica que, aunque hay mucha superposición de valores de WF (V, Max) entre EN y LN y la media no es lo suficientemente sensible para mostrar diferencias, en general cuando se presentan eventos EN los WF (V, Max) son más fuertes con valores elevados y de hecho esta tendencia solo se invierte en la última década donde se cuenta solo un evento EN. Esta afirmación se magnifica con la mediana donde la WF V.Máx., muestra 4 kg.m⁻¹ en la fase EN respecto LN.

Análisis de la tendencia por década y comparación entre fases del ENOS calculados con velocidad media del viento, en La Quiaca.

Los resultados de WF con velocidad media muestran un comportamiento similar al expresado por las tablas y Figuras de WF máxima, pero con menor magnitud y merecen el mismo análisis, Tablas 7.8 y 7.9 y Figura 7.13.

Cuando comparamos el valor promedio de WF (V, Med.) entre EN y LN para el período 1970_2018 a diferencia de WF (V, Max) este posee valores diferentes, 2Kg.m^{-1} más para EN y si tomamos la mediana la diferencia es de 1.5Kg.m^{-1} . Pero cuando revisamos los valores mínimos no hay diferencia entre EN y LN Tabla 7.9. En este parámetro la diferencia se produce por el valor máx. alcanzado en EN. Este indica que hay mucha superposición entre EN y LN de valores de WF (V, Med.) pero la media es lo suficientemente sensible para mostrar diferencias. De la misma manera que en WF (V, Max) en general cuando se presentan eventos EN los WF son más fuertes con valores elevados y de hecho esta tendencia solo se invierte en la última década donde se cuenta solo un evento EN. Como fuera explicado en los capítulos anteriores 3, 4 y 5 si bien El ENOS explica la mayoría de las veces la ocurrencia de menores lluvias durante EN y sus consecuencias en la superficie de lagunas o el NDVI, existen muchos otros múltiples factores que afectan las variables atmosféricas y esto queda expresado por alta dispersión de los valores medios especialmente cuando son pocos el número de eventos (n).

Tabla 7.8. ANOVA WF velocidad del viento media vs ENOS. Test de Tukey, Alfa: 0,05. Estimado con velocidad media. *Indica que faltan datos de algún año ee error estándar.

Década	Media V. med.	n	ee	ANOVA Tuckey 0.05
1970	12,15	10	0,85	a
1980*	13,18	9	0,9	ab
1990	13,43	10	0,85	ab
2000	16,39	10	0,85	b
2010*	15,12	8	0,95	ab

Fuente y Elaboración propia.

Tabla 7.9. Resumen estadístico WF viento medio vs ENOS por década y todo el periodo 1970_2016. n número de casos, CV coeficiente de variación, ee error estándar. Fuente y elaboración propia.

Década	Fase	n	Media WF Med. (kg m ⁻¹)	ee	CV	mín.	máx.
1970	NA	3	12,21	0,45	6,35	11,58	13,08
1970	NE	5	10,68	0,27	5,55	9,95	11,29
1970	NO	2	15,72	1,88	16,88	13,84	17,59
1980	NA	2	12,56	1,42	15,98	11,14	13,98
1980	NE	4	12,52	0,64	10,20	10,92	13,97
1980	NO	3	14,48	2,48	29,71	11,25	19,37
1990	NA	3	13,75	0,27	3,35	13,26	14,16
1990	NE	4	12,01	0,14	2,29	11,80	12,41
1990	NO	3	14,99	1,08	12,50	13,62	17,13
2000	NA	4	15,73	1,51	19,18	13,60	20,14
2000	NE	3	14,54	0,13	1,58	14,41	14,81
2000	NO	3	19,13	4,41	39,94	14,28	27,93
2010	NA	3	15,19	0,18	2,02	14,85	15,45
2010	NE	4	14,83	0,41	5,55	13,89	15,74
2010	NO	1	16,05	0,00	0,00	16,05	16,05

Fase	n	Media WF V. Med. (kg m ⁻¹)	ee	CV	mín.	máx.	Mediana WF V.Med. (kg m ⁻¹)
NA	15	14.10	0.55	15.07	11.14	20.14	13.98
NE	20	12.72	0.40	13.89	9.95	15.74	12.33
NO	12	16.11	1.25	26.84	11.25	27.93	14.32

Fuente y Elaboración propia.

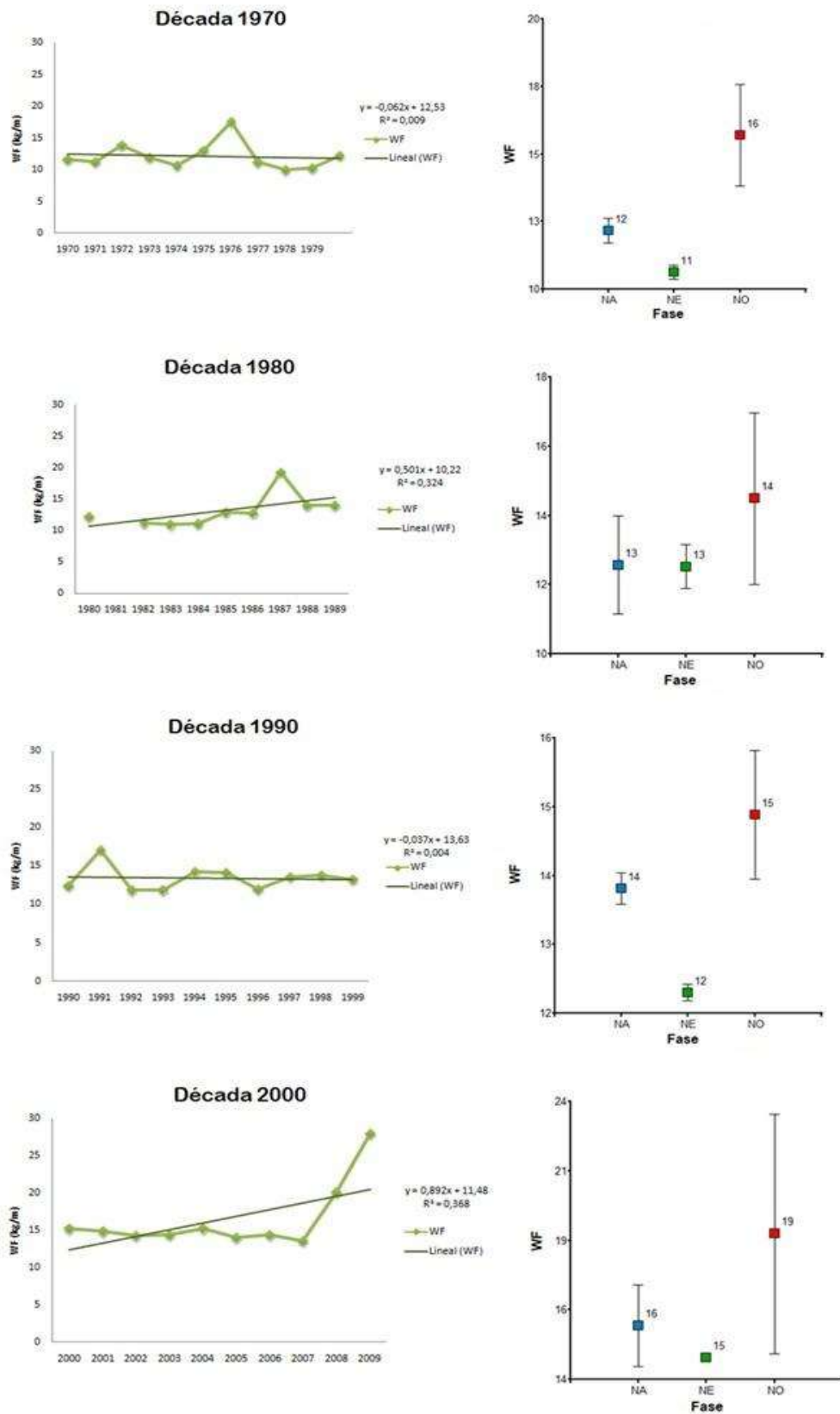


Figura 7.13. WF media vs ENOS y tendencia por década. ENOS con ee: 0.05. Fuente y elaboración propia.

Una forma de entender cómo se relaciona el movimiento de suelo y la erosión es estudiar la traza elementos químicos del polvo depositado. Se utiliza, por ejemplo, para identificar las áreas de origen de polvo en Australia y poder calcular las tasas de deposición de ese polvo en Nueva Zelanda. Después de calibrar 4800 años hasta el presente, se demostró que el clima australiano se volvió significativamente más árido y variable, atribuido a la aparición de condiciones de tipo ENSO. La cuenca del lago Eyre se encendió como fuente de polvo, mientras que la deposición general de polvo australiano en Nueva Zelanda aumentó 4 veces. Se descubrió que las tasas de deposición del polvo australiano coinciden con los patrones de mayor variabilidad de ENOS, lo que se atribuye al efecto combinado de un mayor suministro de sedimentos a las áreas de origen de polvo de Australia (durante los eventos húmedos de La Niña) y las condiciones preferibles para el transporte de polvo (durante la sequía inducida por El Niño). Marx y otros (2009). En una escala espacio temporal más pequeña podemos pensar que los médanos geológicos que se encuentran en la región de la Puna sobre las laderas de los cordones montañosos podrían haber tenido un comportamiento similar con su movimiento de oeste a este. Ello explicaría de forma similar a lo ocurrido entre Australia y Nueva Zelanda, los ríos en la Puna acarrean más sedimentos en los eventos neutros y La Niña y estos serían retransportados por el viento en las fases El Niño. Okin y Reheis en una publicación del año 2002 comprueban que existe una relación significativa entre la anomalía ENOS 3.4 Niño (promedio de diciembre a enero) y la precipitación en el suroeste de los Estados Unidos. Esto contribuye a una mayor frecuencia de eventos de tormentas de polvo en los años posteriores a los años fuertes de La Niña. Existen altas probabilidades (60% –100%) de una frecuencia elevada de eventos de tormentas de polvo en años en los que durante la anomalía ENSO, la precipitación anual o si la relación de precipitación con evapotranspiración P / PE anual cae por debajo del percentil 10. Este análisis proporciona un marco cuantitativo en el que evaluar los efectos esperados del cambio climático en esta y otras regiones áridas. Estas condiciones mostrarían un comportamiento y teleconexión opuesta a la observada para la Puna, pero validan nuestras hipótesis y resultados.

**Comparaciones WF entre La Quiaca y Abra Pampa antes y después de la TCP.
Cálculo de un WF regional de Puna. Relación entre C (WEQ) y WF (RWEQ)
después de la TCP.**

Si bien se dispone de pocos años, se pudo comprobar que el comportamiento de WF calculado con V diaria media de viento entre AP y LQ generalmente es similar. $R^2=0.38$. Figura 7.14.

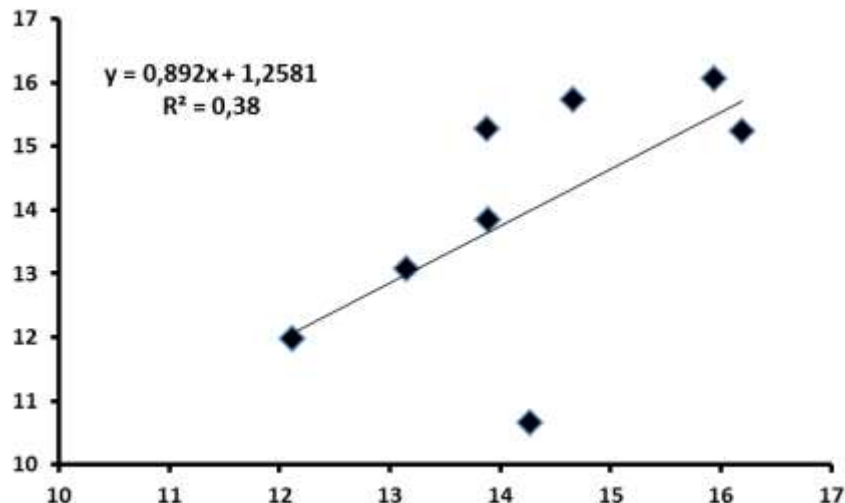


Figura 7.14. Relación entre eje x WF AP vs eje y WF LQ. En kg.m^{-1} . Fuente y elaboración propia.

los datos son tuyos???
 los de viento que usaste
 para la wf? tal vez si
 pones Fuente:
 elaboración propia
 quedaría mejor.

Habiendo probado que $\text{WF AP} = 0.89 * \text{WF LQ} + 1.26$, se elabora un dato regional de la Puna. Se utilizaron los WF calculado con V media de viento para los años en los que en AP se disponía datos diarios de viento y estos fueron promediados con los de La Quiaca. El nuevo dato regional fue graficado en el tiempo. No solo se confirma la tendencia creciente de WF con un $R^2=0.49$, sino que también, con los datos que se disponen, se verifica que después de mediados de la década del 70, para la década de 2010 sus valores son mayores a 14 Kg.m^{-1} . Con una mayor cantidad de datos podría entenderse que ocurrió entre los años 1976 y el 2010, y si verdaderamente la TCP afecto WF en toda la región, un primer intento se muestra en la Figura 7.13. De confirmarse esa hipótesis, en la Puna además de crecer el monto de las precipitaciones (capítulo 5) aumentaría la fuerza erosiva por erosión eólica WF, entonces se estaría incrementando la DT por EH y EE en forma alternativa en las distintas fases de El ENOS. En Australia hay fuerte variaciones en la fuerza del viento entre los distintos eventos del ENOS. Los fuertes vientos asociados con sequías relacionadas al ENSO incrementa la probabilidad de incendios naturales y su ocurrencia varía en distintas estaciones del año para los distintos lugares de Australia Verstraete, & Schwartz. (1991). Las amenazas de incendios para la región de la Puna aún no están suficientemente reportadas ni documentadas, ni tampoco se relacionan con El ENOS.

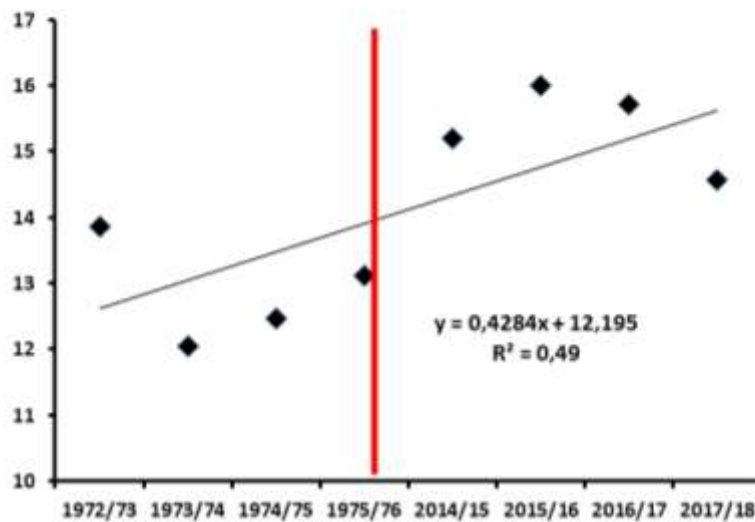


Figura 7.15. Tendencia creciente regional de WF con V media de viento (WF AP + WF LQ) / 2 para la Puna. La línea roja indica la TCP. Fuente y elaboración propia.

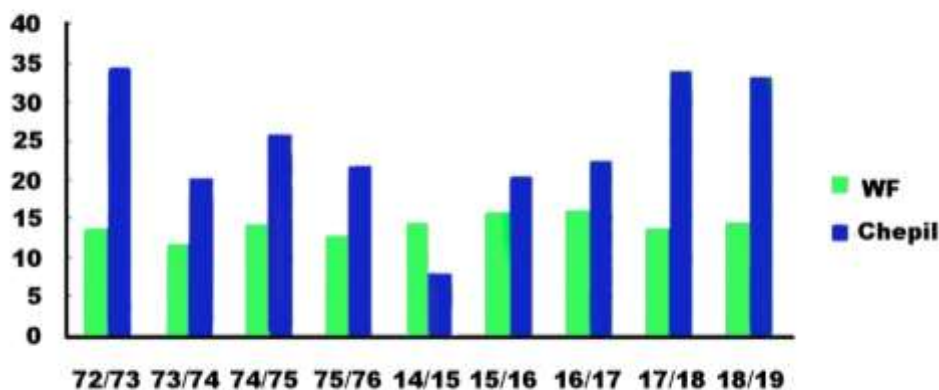


Figura 7.16. Comparación anual entre Chepil y WF con datos de EEINTA AP. Fuente y elaboración propia.

Comparando los valores obtenidos para el clima con ambas metodologías, podemos ver que en líneas generales Chepil arroja valores significativamente superiores en casi todos los períodos Figura 7.16. Ello puede deberse porque en la metodología de WEQ los datos necesarios para sus cálculos son promedios mensuales en cambio para el WF de la RWEQ requiere datos diarios. Además, ambas metodologías usan distintas variables del clima y con diferentes ajustes.

Para comparar entre ambas metodologías los resultados de C usando WEQ y los de WF de RWEQ, solamente para LQ, fueron estandarizados entre 0 y 1 en el período 1976-77 / 2015-16 (40 años). De esta forma se puede probar cual es la fase de El Niño que, en promedio, independientemente de los valores alcanzados por C o WF siempre alcanzan los valores más elevados. Los valores estandarizados en

promedio para los años LN, EN y NE, se graficaron en la Figura 7.17., y para ambas metodologías confirman que la agresividad climática es mayor en los años El Niño.

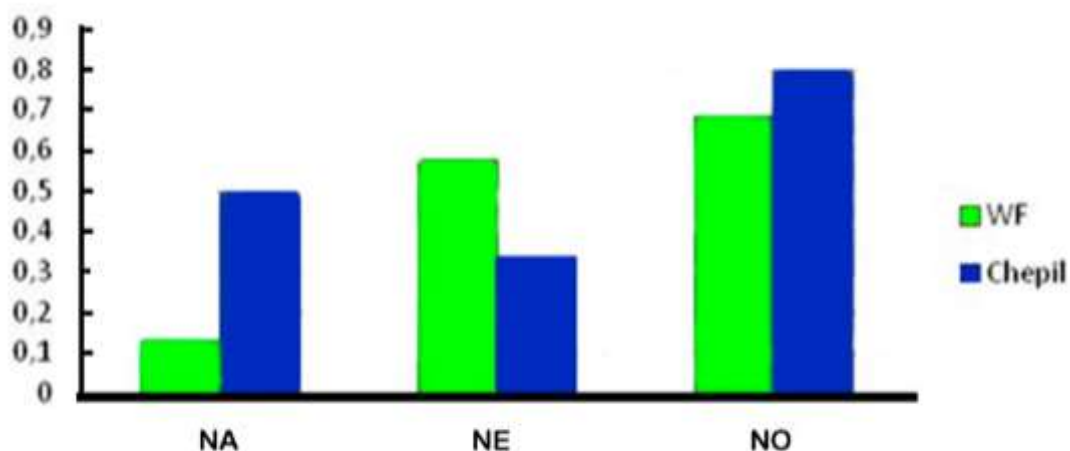


Figura 7.17. Promedios de WF y Chepil estandarizados, por evento ENOS. Fuente y elaboración propia.

Aplicando la RWEQ los años LN son los menos agresivos seguidos de los neutros, en contraposición a lo que arroja la agresividad estimada por Chepil en la cual los años neutros Figuran con valores más bajos. Estos resultados en parte se podrían explicar debido a que, alguno de los años con las mayores precipitaciones se produce en años neutros y que a veces superan a las fases La Niña (ver capítulos 3, 4 y 5). El valor que utiliza Chepil para su cálculo proviene de valores mensuales y WF de datos diarios para todo el período.

En la Figura 7.18, generada a partir de datos de la Estación Experimental (EEINTA Abra Pampa), se puede notar que de junio a octubre ocurrieron los vientos medios más intensos entre los años 2014 y 2016, De acuerdo con estos promedios diarios, es muy probable que frecuentemente hayan existido velocidades instantáneas superiores a un valor umbral de 20 km/h (Chepil y Woodruff, 1963; Buschiazzo, & Aimar. 2003).

El potencial de deriva (DP) es una variable que representa la energía eólica total anual y, por lo tanto, se utiliza para describir la cantidad máxima potencial de transporte de arena por vientos con una velocidad superior a la velocidad umbral. Yang, y otros. (2019).

Ellos demostraron que, al aumentar la velocidad del viento, el DP aumentó especialmente cuando la velocidad promedio del viento fue mayor a 2.5 m.s^{-1} (9 km.h^{-1}) y cuando la velocidad máxima del viento fue mayor de 12 m.s^{-1} , el DP aumentó rápidamente. Si consideramos esos resultados y tal como se muestra en la Figura 7.18 la velocidad del viento promedio puede superar los 10 km.h^{-1} y puede alcanzar ráfagas de 73 km.h^{-1} (aprox. 20 m.s^{-1}) medida a 2 m de altura en Abra Pampa, es probable que en esos meses deberían ocurrir la mayor frecuencia de tormentas de polvo como se muestra en la Figura 7.11.

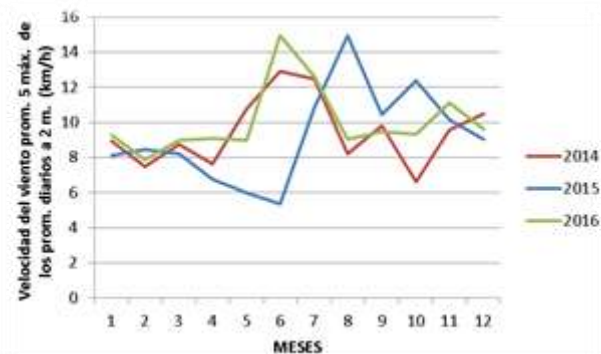


Figura 7.18. Promedio mensual de los promedios diarios de los 5 vientos máximos en Km h⁻¹. Fuentes: Datos EE INTA Abra Pampa. Elaboración propia.

Los resultados de la tesis demuestran una tendencia creciente en la erosividad del clima por erosión eólica a lo largo de las últimas décadas, después del TCP ver Figura 7.16. y con incrementos durante la fase El Niño Figuras 7.7 y 7.17 y aumentos de la frecuencia de las tormentas de polvo en la Puna Figura 7.11. Si relacionamos estos resultados con lo publicado por Yang, y otros. (2019), podríamos inferir que hay un mayor desplazamiento de polvo durante los eventos El Niño en las últimas décadas.

7.4 Conclusiones Capítulo 7.

En promedio se registra menor erosividad de las lluvias durante la fase El Niño en Abra Pampa. Siendo esta estación meteorológica muy representativa de la Puna en Jujuy.

En estepas herbáceas de gramíneas y arbustivas representativas de la Puna se observan diferencias significativas en pérdidas de suelo estimadas entre las fases opuestas de El Niño y La Niña, en erosión hídrica.

La tesis demuestra una tendencia creciente en la erosividad del clima por erosión eólica a lo largo de las décadas en los últimos 40 años. Se observa un incremento mayor de WF y C durante la fase El Niño y un incremento de la frecuencia de tormentas de polvo en las últimas décadas en la Puna.

Capítulo 8

Capítulo 8. Cartografía de las áreas afectadas, no afectadas y susceptibles de ser afectadas, por erosión hídrica y eólica de suelo causadas por la variabilidad climática originada en el fenómeno ENOS. Mapeo los niveles de amenaza de DT.

8.1 Introducción

La erosión de suelos por EE y EH son algunos de los procesos más importantes de DT que provocan la pérdida de la capacidad productiva de las tierras. En la Puna, no solo disminuye la productividad de las económicas de los productores que sobreviven de la ganadería extensiva, sino también generan daños a la salud de los habitantes, pérdidas de obras e infraestructura y pérdidas de los bienes de las personas que será demostrado en el capítulo 9. Para identificar donde ocurren estos procesos con diferentes grados de severidad es necesario elaborar una cartografía. Además, se relacionará el tipo y grado de DT con los cambios de la intensidad de la frecuencia de la ocurrencia causado por las oscilaciones climáticas, especialmente por el ENOS, que ya fue demostrado en los capítulos 3, 4, 5, 6 y 7.

Esto ya lo dijiste

Es por ello que no solo se compara espacialmente, sino también es necesario realizar mapas que permitan identificar cuanto, cuando y donde cambia el tipo y grado de proceso de erosión en cada ambiente y sector según la presencia de las distintas fases del fenómeno ENOS. Para su valorización y cuantificación se utilizaron los modelos de USLE para EH y REWEQ para EE.

8.2. Los procesos de EH Y EE

Erosión Hídrica

Los procesos de desprendimiento, transporte y sedimentación forman parte de un mismo fenómeno complejo denominado erosión hídrica. Es dinámico y susceptible de ser estudiado y tratado a diversas escalas de tiempo y espacio. Cisneros (2012).

La erosión hídrica se desarrolla donde la energía cinética de la lluvia se incrementa por la mayor intensidad de las precipitaciones que al impactar en el suelo desnudo provoca el estallido de los agregados y la desagregación de los mismos. Este mecanismo provoca la pérdida de porosidad, favorece el encostramiento y la disminución de la tasa de infiltración del suelo. La capacidad de resistencia del suelo depende de su textura, estructura, contenido de MO y permeabilidad. La primera acción es el desprendimiento de la gota de lluvia "Salpicadura". En esta etapa el impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados de un suelo desnudo produce pequeños cráteres de impacto, con liberación de partículas, que se desplazan en un radio máximo de 150 cm, siendo las arenas finas las más afectadas. Puede dar origen a un sello o costra superficial que influirá negativamente en las velocidades iniciales de infiltración. Se relaciona directamente con la intensidad de la lluvia y su energía cinética, e inversamente con la estabilidad de los agregados de suelo superficiales y la

cobertura de residuos secos como: rastrojo, ramas y hojarasca o verde: como por ejemplo el canopeo de bosques, pastizales o cultivos.

La erosión laminar es una forma de erosión superficial que se produce por acción del escurrimiento, perdiéndose una capa fina y uniforme de toda la superficie del suelo en forma de lámina. Algunos autores denominan “sheet erosion” a la combinación de erosión por salpicadura y erosión laminar (Troeh y col., 1991), mientras que otros denominan a esta combinación como erosión entresurcos o interrill erosion (Fangmeier y col., 2006).

Cuando se incrementa el flujo superficial aumentan los caudales, la altura del agua, su carga hidráulica y su velocidad, entonces el flujo que es laminar se concentran en las líneas de máxima pendiente, aumenta su velocidad y los escurrimientos de ese flujo se transforman en flujo turbulento. Al aumentar la velocidad y el volumen se desarrollan surcos o “rill erosion”. En estos surcos la capacidad de corte y el arrastre de partículas y agregados se tornan importantes. Este tipo de escorrentía concentrada tiene una mayor capacidad de desprendimiento y de transporte que el flujo laminar, con lo cual las tasas de erosión por este mecanismo se incrementan, pasando el flujo de tipo subcrítico a supercrítico. El mecanismo de erosión en surcos requiere la formación de una pequeña “cabecera” que produce una erosión retrocederte (en sentido contrario al flujo). La velocidad de avance del surco (retrocedete) depende de la cohesividad del material de suelo, la altura del salto de agua en la cabecera del surco y el caudal y velocidad del flujo. La tasa de erosión en surco es una función que depende de la fuerza de corte del escurrimiento concentrado en surcos ζ y de dos propiedades del suelo: la erodabilidad del suelo para erosión en surcos K_r , y la resistencia crítica al corte del suelo ζ_c es decir aquella resistencia del suelo debajo de la cual el desprendimiento es despreciable. De acuerdo a esta relación, sólo habrá erosión si la fuerza de corte del escurrimiento ζ supera a la resistencia crítica al corte del suelo ζ_c . (Fangmeier y col., 2006). Suele asociarse la erosión en surcos como aquella que luego de su aparición en el terreno el productor, puede “borrar” con sus implementos de labranza. Este concepto intenta clarificar la diferencia entre la erosión en surcos y cárcavas. La confluencia de surcos, que generalmente permanecen secos, se activan cuando las lluvias van incrementando la velocidad y el volumen del flujo de agua y la cantidad de sedimentos que llegan a las cárcavas.



Figura 8.1. Foto (izq.) sobrepastoreo erosión laminar en Pumahuasi; Foto (centro) surco con comienzo de cárcava cerca de Abra Laite y Foto (der.) y camino a

La Quiaca se observan cárcavas que provienen de los escurrimientos de los cerros.
Fuente: propia.

Las cárcavas (también llamadas barrancas, o simplemente zanjas) son la manifestación más visible y llamativa del proceso erosivo. En las cárcavas se incrementa la capacidad de corte y arrastre, y se ubican generalmente pendientes abajo, donde encuentran el suelo frágil. La forma y profundidad que adoptan las cárcavas está determinada por el tipo de material del suelo y su grado de cohesión. Para materiales poco cohesivos, la forma tiende a ser en "U" en general de texturas más arenosas y se encuentran con más frecuencia en regiones áridas y semiaridas, mientras que para materiales más resistentes la forma típica es en "V" con mayor contenido de arcillas se presentan en regiones húmedas con más frecuencia. Generalmente el piso de la cárcava se asienta sobre mantos de tosca calcárea cementados o contacto lítico, retardando su avance en profundidad y dificultando la estabilización mediante el crecimiento de vegetación. **Ver Figura 8.1.**

No tienen cita

Otro proceso que se genera por la erosión hídrica es el movimiento en masa que implica el desplazamiento de grandes volúmenes de material en condiciones especiales de humedad, pendiente y tipo de suelo. Los movimientos en masa se producen frecuentemente en suelos someros, asentados sobre un material impermeable, como rocas graníticas, ubicadas en fuertes pendientes. En estas condiciones el material "fluye" sobre la interfase suelo-roca por un efecto mecánico de disminución de la resistencia al corte, aumento del peso y lubricación del contacto entre ambas capas. En Argentina, los cerros del noroeste argentino son lugares típicos donde suele producirse y se pueden observar remoción de suelo por movimientos en masa.

según quien??

Por otra parte, los bordes y fondos de ríos y arroyos de cursos permanentes son las zonas de la cuenca más susceptibles a la erosión en virtud de su proximidad al cauce principal. Estos sectores deben soportar la máxima energía de las crecientes, ya que son los lugares de traslado y concentración de escurrimientos. La erosión de márgenes se produce en la costa del río ó en sus bordes debido a la acción erosiva de la corriente que desestabiliza la base y produce su desmoronamiento, este mecanismo es similar al descrito para la erosión en los bordes laterales de cárcavas.

Erosión Eólica

Este proceso se ve favorecido por los eventos de sequía, y depende fundamentalmente de la velocidad del viento. Si bien este último parámetro se puede determinar con relativa facilidad en los mares, a partir de la altura de las olas de los océanos con sensores remotos como radares montados en satélites su medición en grandes extensiones en los continentes depende de los registros de estaciones meteorológicas convencionales o automáticas y su densidad en las redes meteorológicas. Uno de los desafíos es establecer metodologías que ayuden a estimar la erosión eólica donde no existen suficientes registros de velocidad de viento.

Las evidencias en el paisaje de la erosión eólica generan formas agradacionales y degradacionales. Entre las primeras se encuentran los médanos, las

lenguas de erosión, engrosamientos o mantos en superficies extensas y los montículos. Las formas degradacionales se asocian a concentraciones residuales de gravas o pavimentos y la reducción del perfil del suelo que es un fenómeno difícil de visualizar en el terreno, sobretodo en suelos juveniles, y mucho más difícil de evidenciar desde los sensores remotos. **Strahler y Strahler (1991).**

El proceso de erosión eólica está regulado por factores naturales de agresión y resistencia. Un primer factor de agresión es el clima y el viento su disparador. No solo es importante en cuanto a su velocidad promedio sino también a sus velocidades instantáneas ya que al actuar en ráfagas que superan la capacidad de resistencia de los distintos elementos ubicados en la superficie. Los distintos elementos pueden ser levantados de la superficie según su forma, tamaño, peso y densidad. Existe una velocidad umbral para que se inicie el proceso y esta fue cuantificada por **Chepil y col.**, quienes usando túneles de viento la definieron en 5 m s^{-1} . Se requiere más energía para iniciar el proceso, pero el mismo puede continuar con velocidades menores. La velocidad del viento se incrementa de forma exponencial con la altura. La erosión se incrementa cuando el viento erosivo se mueve sobre un suelo rico en arenas muy finas y rico en arenas muy finas. año?? solo en arenas muy finas??? y los limos y las arenas finas??? por ejemplo

En una superficie lisa y rígida que no se está erosionando cuanto mayor es la velocidad del viento mayor será la velocidad de corte o arrastre. Paradójicamente en una superficie de suelo que se está erosionando y por debajo de cierta altura al aumentar la velocidad del viento aumenta la cantidad de las partículas elevadas que entran al proceso y entonces disminuye la capacidad de corte o arraste del viento. Cada viento tiene una capacidad de arrastre que depende de su energía.

El otro factor que nos importa en el clima es la diferencia entre precipitación y la evapotranspiración. Un suelo húmedo no podrá ser levantado por el viento ya que las partículas se mantienen unidas, pero si la demanda atmosférica supera a la oferta de la lluvia este se encontrará seco aumentando su susceptibilidad. En síntesis, el clima actúa por la acción del viento y por el balance hídrico el suelo. Año??

En cuanto a la capacidad de resistencia, en el estudio del suelo realizado por **Chepil y col.**, han demostrado que cuanto mayor es el porcentaje de agregados mayor a 0.84mm retenidos en un tamiz de tambor rotatorio a 10 rpm la erosión es menor.

La capacidad de formar agregados estables en el suelo depende de la textura, el carbono orgánico total (COT) y agentes cementantes como CO_3Ca . Si se pretende mantener agregados estables debemos preservar sus coloides, las arcillas y la materia orgánica.

Un factor a considerar es la densidad que es la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un objeto sólido y es algo muy importante para la erosión eólica. Solo cuando la densidad aparente (agregados de suelo sólido con sus poros) se iguala con la densidad real (para los agregados de suelos cuando desaparecen los poros y solamente quedan las partículas individuales). Entonces al eliminarse los poros de los agregados del suelo, el diámetro aparente (el diámetro del agregado con sus poros desaparece) y solo quedan los diámetros de partícula. Esto solo ocurre cuando el suelo es dispersado y queda conformado por las partículas individuales. A medida que aumenta el volumen de aire dentro del suelo los agregados

que lo conforman disminuyen su densidad. Este comportamiento también se repite con otros materiales. Es así que la piedra pómez que tiene una baja densidad aparente, es muy liviana y puede ser arrastrada o levantada con velocidades de vientos más suaves aún con tamaños de piedra mayores.

Tanto una superficie muy lisa como una altamente rugosa favorecen la erosión eólica. La primera no permite elevar la altura de la capa de velocidad cero y la segunda expone al viento mucho material de las crestas de los surcos. Debe existir una relación adecuada entre altura y distancia de los surcos para crear una rugosidad orientada perpendicular a la dirección de los vientos erosivos para que sea efectiva. En definitiva, se busca elevar el nivel de la superficie aerodinámica media y de la capa de velocidad cero. Estos surcos actuarán como trampa de partículas. En los ambientes naturales como la Puna en general la rugosidad es al azar o no orientada, es dinámica y depende los arbustos y matas de gramíneas.

Si en una superficie de suelo que se está erosionando se coloca un obstáculo, este provocará la sedimentación de la arena por detrás del mismo. Un ejemplo muy típico de observar en el campo es en los alambrados, bebederos de los animales y en las estepas detrás de los arbustos y matas de gramíneas.

Finalmente, la cobertura vegetal viva o muerta (rastros, pasto o ramas secas u hojarasca), disminuyen la superficie de suelo expuesto al viento. Cuanta más alta sea la misma mayor será el desplazamiento vertical de la capa de velocidad cero entonces por ejemplo un poco por debajo de la altura que alcanza la canopia de un cultivo no se produce erosión ya que la velocidad será cero. Sin embargo, hay que considerar que, en las regiones semiáridas y áridas, donde se presenta la erosión eólica, la capacidad de retención hídrica y almacenamiento de agua en los suelos es baja, se dificulta desarrollar altos volúmenes de biomasa y luego cuando la vegetación se seca esta se descompone rápidamente.

Una vez que el viento supera el umbral de velocidad, las partículas del suelo o los agregados pequeños estables comienzan a moverse en tres formas principales, o modos de transporte: reptación, saltación y suspensión (Figura 8.2 y Tabla 8.1). partículas o los agregados del suelo que tienen un diámetro de aproximadamente 0,5 a 1 mm ruedan o reptan y/o se desplazan a lo largo de la superficie del suelo, empujadas por la fuerza directa del viento o cuando hay partículas que se encuentran en saltación las golpean provocando su movimiento o desgastan los microagregados. Las partículas de saltación o los agregados del suelo individuales que tienen un diámetro de aproximadamente 0,1 a 0,5 mm, son elevadas y luego caen impulsando otras partículas al proceso a lo largo de la superficie del suelo, rara vez superan alturas de unos pocos metros. Estas partículas pueden ser levantadas directamente de la superficie del suelo por la fuerza del viento o ser expulsadas de la superficie del suelo cuando otras partículas saltantes las impulsan en el impacto. A medida que estas partículas saltantes rebotan a lo largo de la superficie del suelo, desalojan e incorporan más partículas en saltación, creando un efecto de avalancha. Los sedimentos en saltación pueden causar abrasión a medida que las partículas rebotan o chocan con otros sedimentos o con la costra de la superficie del suelo, o pueden quedar atrapados en la superficie del suelo, un surco o algún obstáculo natural o artificial. Los sedimentos suspendidos generalmente tienen menos de 0.1 mm de

alguna referencia de autor???

diámetro. Cuando los sedimentos suspendidos son más finos y alcanzan mayor altura, son transportados por remolinos turbulentos y pueden viajar miles de kilómetros antes de regresar a la superficie. Contrariamente a los sedimentos provenientes de saltación o rodadura que generalmente se redepositan dentro o cerca del campo donde se originaron. Algunos sedimentos del tamaño presentes en el mecanismo de suspensión, que permanecen presentes en el suelo antes del inicio del proceso o formando agregados estables, una vez que se incorporan al flujo turbulento desaparecen del lugar trasladándose varios kilómetros. Estas partículas son coloides como materia orgánica o arcilla que son fundamentales para formar agregados y el almacenamiento de agua en el suelo, contienen elevada fertilidad y suelen adsorber los contaminantes.

La emisión de partículas finas que se encuentran en la atmósfera (PM10), será transportado a mayor altura y más lejos. Entonces cuanto mayor sea la proporción de pequeñas partículas en el suelo, mayor será contribución en la masa total de material erosionado con capacidad de emitir PM10.

Se estima que cada año existe una emisión de PM10 a la atmósfera de 2000 MMg., de los cuáles el 75% se vuelve a depositar en la superficie terrestre y el 25 % restante cae sobre el mar (Shao y col., 2011). Al presente se estima que la agricultura contribuye entre un 10 y 50 % de las emisiones globales de polvo (Tegen y Fung, 1995; Tegen y col., 2004).

Es tu clasificación o de donde salió?

Tabla 8.1. Mecanismos de erosión eólica.

	Diámetro de partícula	Clasificación granulométrica	% de movimiento	Tipo de desplazamiento
SUSPENSIÓN	2 a 100 μ	Arcilla-Limos finos Limos gruesos-Arena medio fina	3 - 38	(+) vertical 10 km (-) horiz. 1 km
SALTACIÓN	100 a 500 μ	Arena fina- Arena media	50 - 75	(-) vertical 1 m (+) horiz. 10 m
RODAMIENTO	500 a 1000 μ	Arena gruesa-Arena medio gruesa	7 - 25	(+) horiz. cm



Figura 8.2. Tipos de movimiento de partículas de suelo por el proceso de erosión eólica Fuente: Cantero et. al., 2010, adaptado por Lan Man, Nz, 2002.

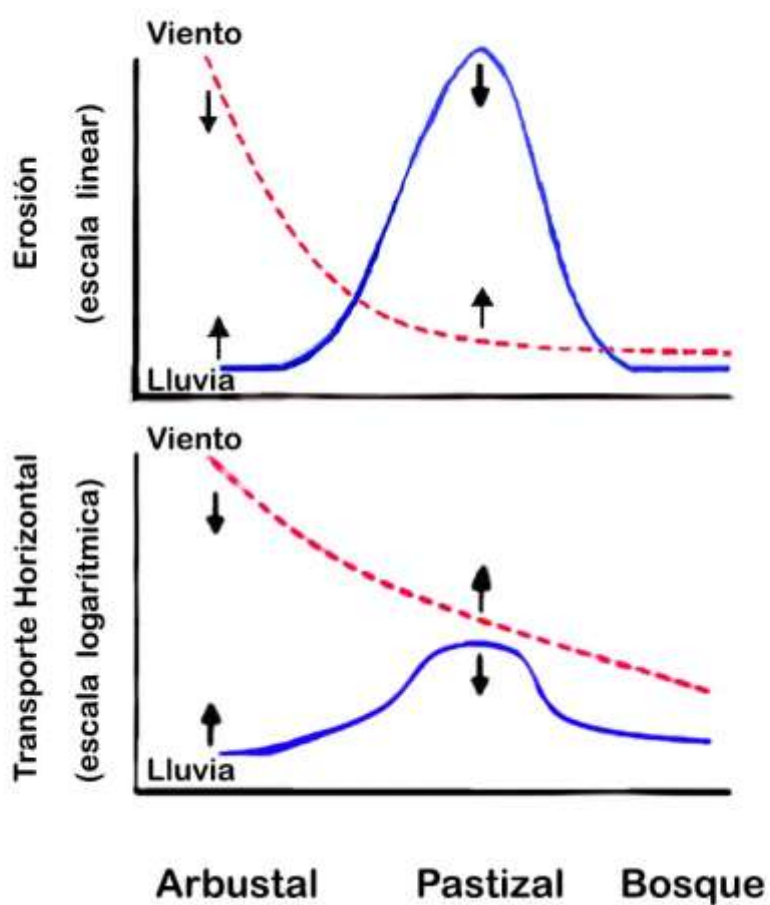
La emisión potencial de PM10 de los suelos medida en laboratorio es usada para evaluar la intensidad de emisión, la composición y el impacto de los aerosoles minerales sobre la salud y el ambiente (Gill y col., 2006). Algunos estudios indicaron que la toxicidad por unidad de masa se incrementa cuando decrece el tamaño de las partículas (Lingard y col., 2005). Existen casos como la ciudad de Méjico donde se determinó que los materiales geológicos que producen emisiones de polvo, poseen un 23 % de partículas PM 2,5 de la masa total de las PM10, y estas resultan de mayor riesgo (Vega y col., 2001).

Este párrafo por que usa aquí que se trata de explicar?

Los efectos sobre el ambiente son diversos, como la intransitabilidad de caminos, la colmatación de diques, el deterioro de construcciones rurales y urbanas, pueden generar pérdidas económicas superiores a las que se producen en el suelo (Huszar and Piper, 1986; Lal, 2003). Estas partículas finas de polvo presentes en las capas más altas de la atmósfera afectan directa e indirectamente las propiedades físicas y químicas de la misma, como la formación de nubes y el balance de la radiación (Seinfeld and Pandis, 1997), participan de los cambios del clima global (McConnell y otros, 2007) o pueden alterar las cadenas tróficas marinas (Meskhidze, 2007) ya que activan el crecimiento del fitoplancton que modifica el ciclo de elementos en el mar como por ejemplo, el Fe (Zhuang y col., 1990) o el Si (Harrison, 2000). Se ha comprobado que las deposiciones de PM10 también pueden modificar el ciclo de los nutrientes en ecosistemas naturales. En Argentina, un estudio completo de la calidad del material erosionado por el viento en suelos fue desarrollado por Aimar en el año 2016.

Breshears, y otros (2003), han elaborado una hipótesis del comportamiento de la erosión y transporte horizontal para erosión hídrica y eólica, en tres ecosistemas. Dentro de estos gráficos, La Puna de Jujuy se ubica en la porción de las estepas de arbustos, mixtos y pastizales con baja a media cobertura de suelo, precipitación media baja y velocidad de viento media a elevada, superficie entre parches medio alto, es decir abundante suelo desnudo y una textura de suelo arenosa a franco arcillo arenoso. En este esquema se ubica para EE y EH (entre elevada y moderada) En la intercepción entre EE con sentido descendente y EH ascendente. Este marco conceptual marca la fragilidad del sistema. **Figura 8.3.**

En este capítulo se prueba en el punto 8.3 como las distintas fases del ENOS en la región de la Puna de Jujuy influyen en la erosión de los suelos con la consiguiente degradación de las tierras.



Precipitación	Bajo	Medio	Alto
Velocidad del viento cerca de la superficie	Medio	Alto	Bajo
Cobertura del suelo	Bajo	Medio	Alto

Tamaño promedio del camino sin cobertura	Alto	Medio	Bajo
Contenido de arcilla en el suelo	Bajo (arenoso)	Alto (arcilla)	Medio (franco limoso)

Figura 8.3. Relaciones hipotéticas para erosión y transporte en ecosistemas de arbustos, pastizales y bosques. Las tendencias posibles de los factores relacionados son listados debajo de cada ecosistema. Las hipótesis son específicas para las texturas listadas. Las flechas indican la dirección esperada en la que las curvas hipotéticas se moverían si todos los suelos fueran ajustados a una textura intermedia por ejemplo franco limoso para los arbustos y pastizales. Fuente: (Marshall, 1973). citado por Verstraete, & van Ypersele, (1986).

El gráfico de la Figura 8.4. (Marshall, 1973) citado por Verstraete, & van Ypersele, (1986), es una síntesis en el que se puede observar donde se produce la intercepción entre la erosión eólica relativa y la producción de sedimentos relativa por erosión hídrica, justo entre 150 y 450 mm, que es el rango donde se encuentran la mayoría de las precipitaciones de la estación con lluvias. Analizando las curvas A y C, correspondientes a las áreas cubiertas por vegetación natural, se observa que aproximadamente en 250mm se produce la intercepción y conviven ambos problemas de erosión. Cuando disminuyen las precipitaciones se acelera el incremento de la EE y viceversa al incrementarse las precipitaciones hasta aproximadamente 450mm lo hace la EH. Nuevamente, la fragilidad de la Puna a la erosión de suelos es elevada y merece su atención. Si las oscilaciones del clima debido al ENOS modifican la erosividad del viento y lluvia como se demostró en el capítulo 6, por encima y debajo de 250mm aceleran la EH y EE deberían presentar cambios temporales en la degradación de las tierras causados por los eventos extremos de las distintas fases del ENOS.

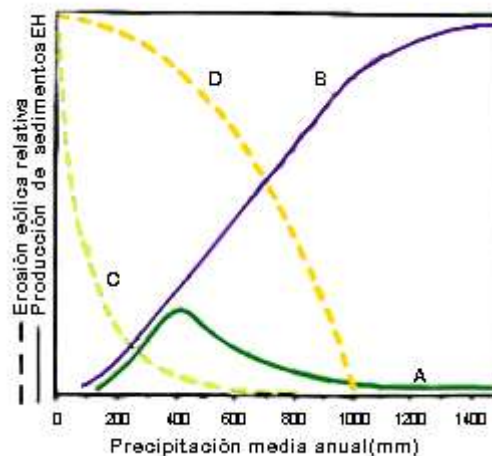


Figura 8.4. Relaciones de producción relativa de sedimentos por erosión hídrica (líneas continuas) y erosión eólica (líneas discontinuas) con precipitación media anual creciente. Las curvas para la erosión hídrica, indique las relaciones con la precipitación media anual para (A) áreas de cubierta de vegetación natural y (B) suelo desnudo. Las curvas para la erosión eólica indican las relaciones con la precipitación media anual para (C) áreas de cubierta de vegetación natural y (D) suelo desnudo. Estas curvas se

basan en lo que se esperaría de la relación de la erosión eólica con una determinada cubierta vegetal natural y humedad del suelo. Fuente: (Marshall, 1973). citado por Verstraete, & van Ypersele, (1986).

8.3. Erosión de suelos variación espacial y los cambios de nivel de afectación causada por la oscilación climática

8.3.1 Erosión hídrica USLE

En general, los diferentes procesos de erosión del suelo están relacionados con diferentes zonas climáticas. La erosión hídrica es más común en áreas húmedas, y la erosión eólica domina en las regiones áridas. Sin chequear las citas las regiones áridas o semiáridas, ambos procesos de erosión contribuyen significativamente a la erosión total del suelo (Du y col., 2016). Según Wang y col., (2003), la mejor y mayor disponibilidad de datos sobre factores de erosión (p. ej., datos climáticos, del suelo, de cobertura terrestre y topográficos) junto con los avances en la computación y la integración de datos en un sistema de información geográfica (SIG) han hecho posible la evaluación del riesgo de erosión en dominios espaciales más grandes y su monitoreo con bajo costo y precisión razonable. A partir de este análisis se decidió seguir una metodología similar en la tesis, ya que la región de la Puna ocupa una extensa área.

Existe una necesidad de proponer un modelo ágil que permita monitorear las variaciones espaciales y temporales de la erosión hídrica en la Puna jujeña. Uno de los métodos utilizados para cuantificar las pérdidas físicas de suelo por erosión hídrica es a través de la ecuación USLE y en muchos trabajos esta ecuación fue aplicada dentro de un SIG. Por otra parte, se han realizado modelos para poder predecir los efectos del cambio climático con proyecciones para el año 2020 (SAyDS 2007). En la zona de la Puna jujeña se espera una disminución en la humedad del suelo, cambios en las precipitaciones y su frecuencia, y un aumento del escurrimiento promedio y la tasa de evapotranspiración. Una de las variables de mayor impacto en la DT son las precipitaciones y el fenómeno ENOS es la principal fuente de variabilidad interanual. La posibilidad de una predicción confiable de la variabilidad interanual climática permitirá una previsión en los posibles efectos y generará una optimización en la toma de decisiones para el manejo y gestión de los recursos naturales y la conservación de los servicios ecosistémicos. y la eolica???

En esta sección de este capítulo se desarrolla un modelo semiautomático que permite estimar la erosión hídrica potencial en la Puna a partir de sensores remotos. El objetivo específico fue evaluar los cambios de la erosión para las distintas fases del fenómeno ENOS. Los objetivos secundarios fueron: (1) Estudiar las variaciones espaciales y temporales en la erosión hídrica actual y potencial y (2) estudiar cómo influyen los cambios en las precipitaciones y la cobertura vegetal causadas por las variaciones del ENOS en la degradación provocada por la erosión hídrica.

El área de estudio de este trabajo se encuentra gran parte dentro de lo que se denomina cuencas cerradas de la Puna, más específicamente en las subcuencas de Pozuelos, Río Miraflores y Salinas Grandes–Guayatayoc. El suelo se encuentra representado por Torrihortentes, Torripsamentes, Paleargides asociados con

afloramientos rocosos. La principal actividad económica es la de ganadería de trashumancia conjugado en una matriz de áreas de conservación (Monumento Natural Laguna de los Pozuelos, Reserva de la laguna de Guayatayoc y el Parque Nacional de la Humanidad en la Quebrada de Humahuaca). Una de los ambientes fue presentada en el capítulo 1.

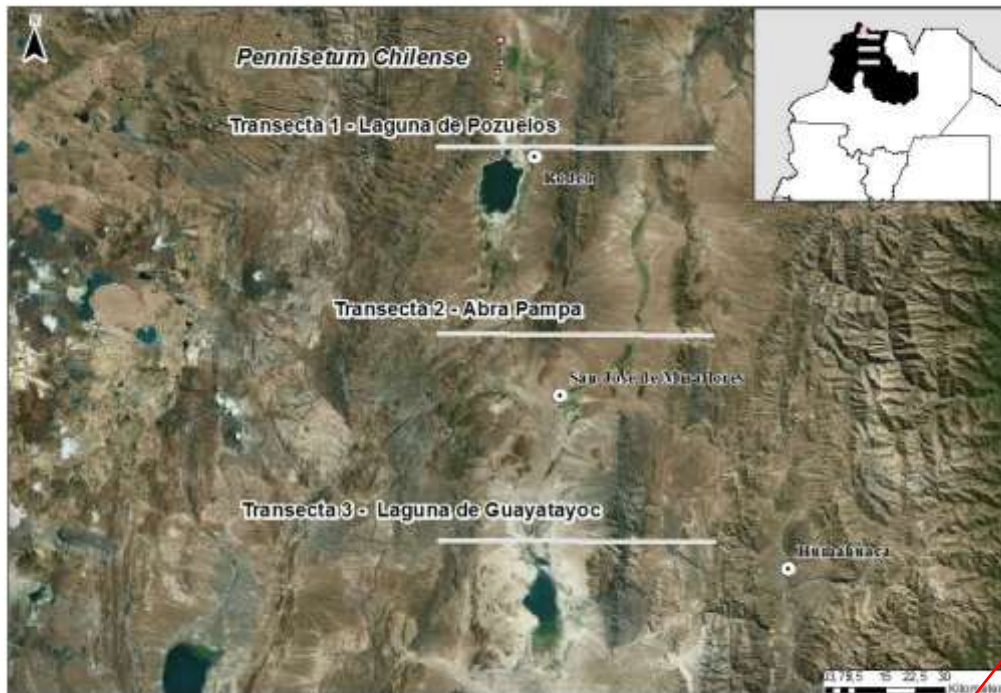
El efecto de la cobertura vegetal se podría haber cuantificado haciendo la variación entre los resultados de la EHp y EHa pues justamente es el factor c (cobertura vegetal) el que se incorpora en la EHa.

Se establecieron dos tipos de muestreos: polígonos y transectas. Las transectas establecidas por polígonos se encuentran al sur del pueblo de San Salvador de Jujuy. Se identifica a la ubicación de la comunidad vegetal de *Pennisetum chilense* (Movía 1975) para poder determinar el efecto de la cobertura vegetal de la erosión potencial y actual para las distintas fases del ENOS. Los polígonos representan un recorte total de 1037 píxeles con valores de erosión que representan unas 840 has.

Además, se establecieron tres n catenas o transectas sentido Oeste-Este ubicadas en las latitudes del hemisferio sur (HS) que atraviesan las cuencas escogidas, lo que permitió identificar las variaciones geográficas Figura 8.5. Las transectas tienen una distancia total de 65 kilómetros cada una y atraviesan en dirección oeste a este el paisaje. La transecta 1 atraviesa la Laguna de Pozuelos, la transecta 2 el valle del Río Miraflores a la altura de la localidad de Abra Pampa y más al sur la transecta 3 cruza sobre la Laguna de Guayatayoc. La variación de la estimación de la erosión potencial y actual fue determinada con un punto de muestreo cada 2 kilómetros en sentido Oeste-Este a lo largo de cada una de ellas, por lo que se contó con un total de 32 puntos, para generar un perfil del relieve y la pérdida de suelo en cada una de las fases del ENOS. Las coordenadas de las transectas se muestran en la Figura 8.5. y Tabla 8.2.

Tabla 8.2. Transectas de perfiles de erosión hídrica en Jujuy.

Transecta	Vértice	Latitud	Longitud
1	Oeste	22° 15' 39,59" S	66° 8' 31,19" W
1	Este	22° 15' 50,39" S	65° 31' 30" W
2	Oeste	22° 41' 2,4" S	66° 8' 24" W
2	Este	22° 41' 16,79" S	65° 31' 22,79" W
3	Oeste	23° 8' 41,99" S	66° 8' 13,2" W
3	Este	23° 8' 56,4" S	65° 31' 15,6" W



Estan mal puestas las citas respecto de la oración a la que corresponde...

Figura 8.5. Ubicación de las catenas de muestreo. Fuente y elaboración propia.

Las comparaciones de modelos físicos basados en procesos (p. Ej., WEPP o PESERA) no necesariamente genera incertidumbres menores a los modelos empíricos estructurados más simples, como los algoritmos de tipo USLE. Alewell y col. (2019). Ello es más notorio en regiones donde no hay suficientes datos para aplicar modelos más complejos. La ecuación universal revisada de pérdida de suelo (RUSLE) integrada con teledetección y SIG se ha utilizado para estimar la pérdida de suelo en la parte del sistema costero Odisha India. Srinivasan y col. (2019), y también en cuenca del Soummam en el noreste de Argelia, Sahli, y col. (2019). También se aplicó con éxito la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) para el mapeo y monitoreo de una cuenca del oeste Argelia utilizando imágenes de satélites como fuente de datos. Bouderbala y col. (2018). Se han recopilado muchos antecedentes de aplicaciones de SIG para la estimación de la erosión hídrica en distintos casos de estudio. Lyu, (2019) y Mihi, y col. (2019).

Aquí la pérdida de suelo por erosión hídrica en dos estepas representativas fue estimada cuantitativamente a partir de la ecuación USLE (Wischmeier y Smith, 1978) presentada en el capítulo 7, este es un modelo empírico que calcula la pérdida del potencial promedio de suelo por erosión hídrica en una zona a partir de la compilación de pocas variables en un modelo simple a través de la siguiente fórmula:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Siendo A ($Tn \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) el promedio de la pérdida de suelo, R ($MJ \text{ cm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) es el factor erosividad de la lluvia, K ($Tn \text{ h MJ}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) es el factor de erodabilidad del suelo, y los factores adimensionales: L es el factor de la longitud de la pendiente, S es

el factor de gradiente de la pendiente, C es el factor de la cobertura vegetal y P es el factor de las prácticas culturales. La integración de los datos de los distintos factores permitió obtener, para cada periodo monzónico imágenes en formato ráster.

Los datos de precipitación mensual fueron obtenidos de las estimaciones realizadas por el Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) en una grilla con una resolución espacial de 0,5° x 0,5° (Meyer-Christoffer, y col. 2011), éstas presentan un buen ajuste con las precipitaciones de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio (Maggi y col. 2015). Estos datos permitieron estimar el factor R para los distintos periodos monzónicos de la serie 2001–2010 a través de las precipitaciones del periodo monzónico NOA (Maggi 2002):

$$R = (0.037439 * p^{1.61})$$

Estos dos párrafos ya los explicaste en el capítulo 7. Si tomas los resultados de ese capítulo no lo pongas de nuevo...agrega lo que complementaste y listo.

Se realizó la integración de las grillas de precipitaciones por periodo de lluvias (octubre a abril) y se calculó su factor R para cada periodo en imágenes de formato ráster. A modo de ejemplo se muestra la grilla, tamaño de pixel 0.5° latitud x 0.5° longitud y aplicando la ecuación de Maggi 2002, R 2008_2009. Figura 8.6.

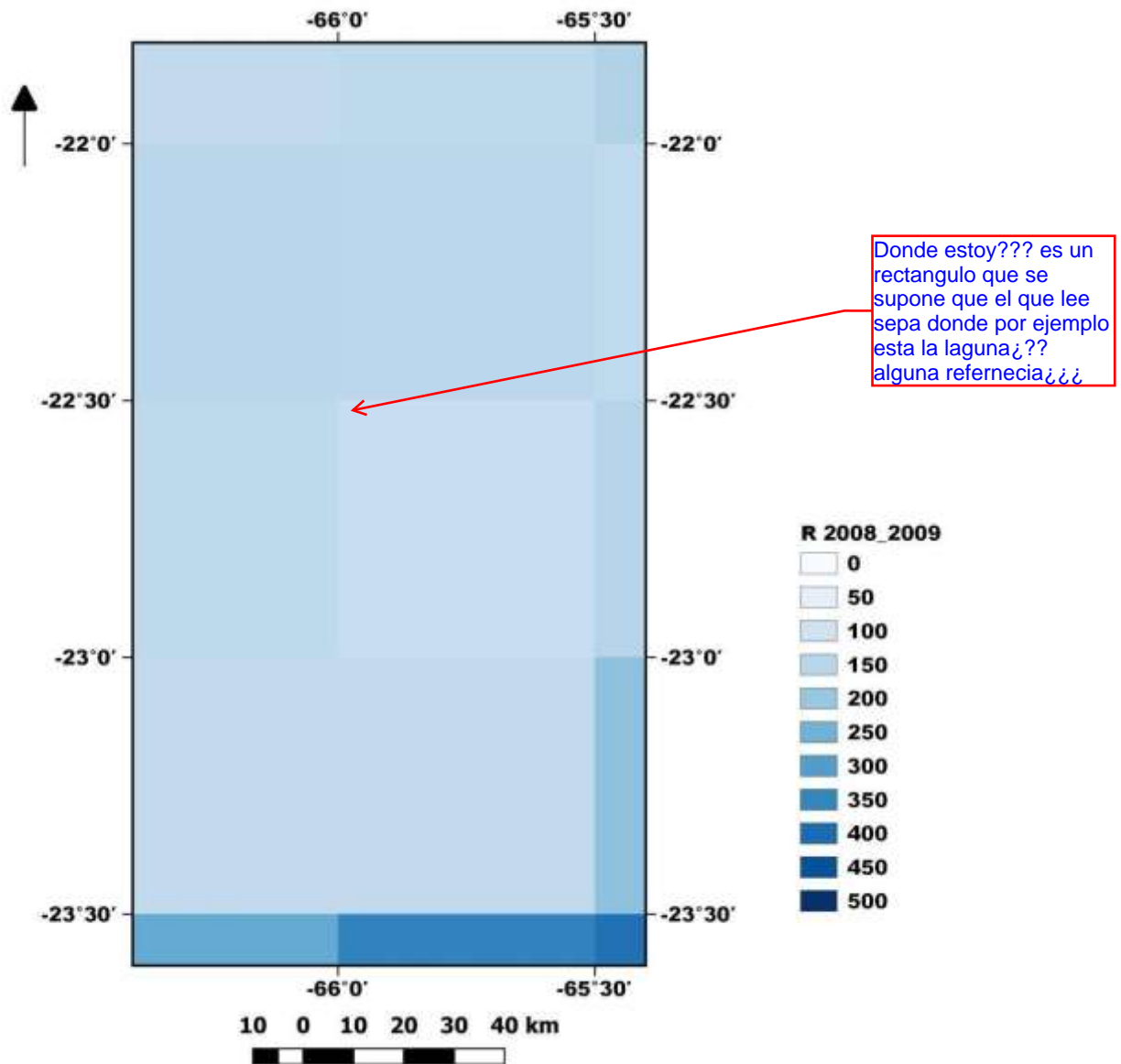


Figura 8.6. Suma de precipitaciones de octubre abril aplicado el algoritmo para convertir su valor a R 2008_2009. Fuente: Grilla GPCC y elaboración propia.

El factor K (erodabilidad del suelo) es la tasa de pérdida del suelo para un tipo de suelo dado expresado en $Tn h MJ^{-1} cm^{-1}$. Se calculó a partir de la ecuación Wischmeier & Smith (1978) para suelos con un contenido de limo menor al 70%:

$$K = \frac{[2,1 M^{1,14} (10^{-4})(12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)]}{100}$$

$$M = \% \text{ delimo} \times (100 - \% \text{ dearcilla})$$

Donde M es el parámetro de tamaño de partícula, a es el porcentaje de materia orgánica, b es el grado de estructura (Iruña y col. 2007) y c es la clase de permeabilidad.

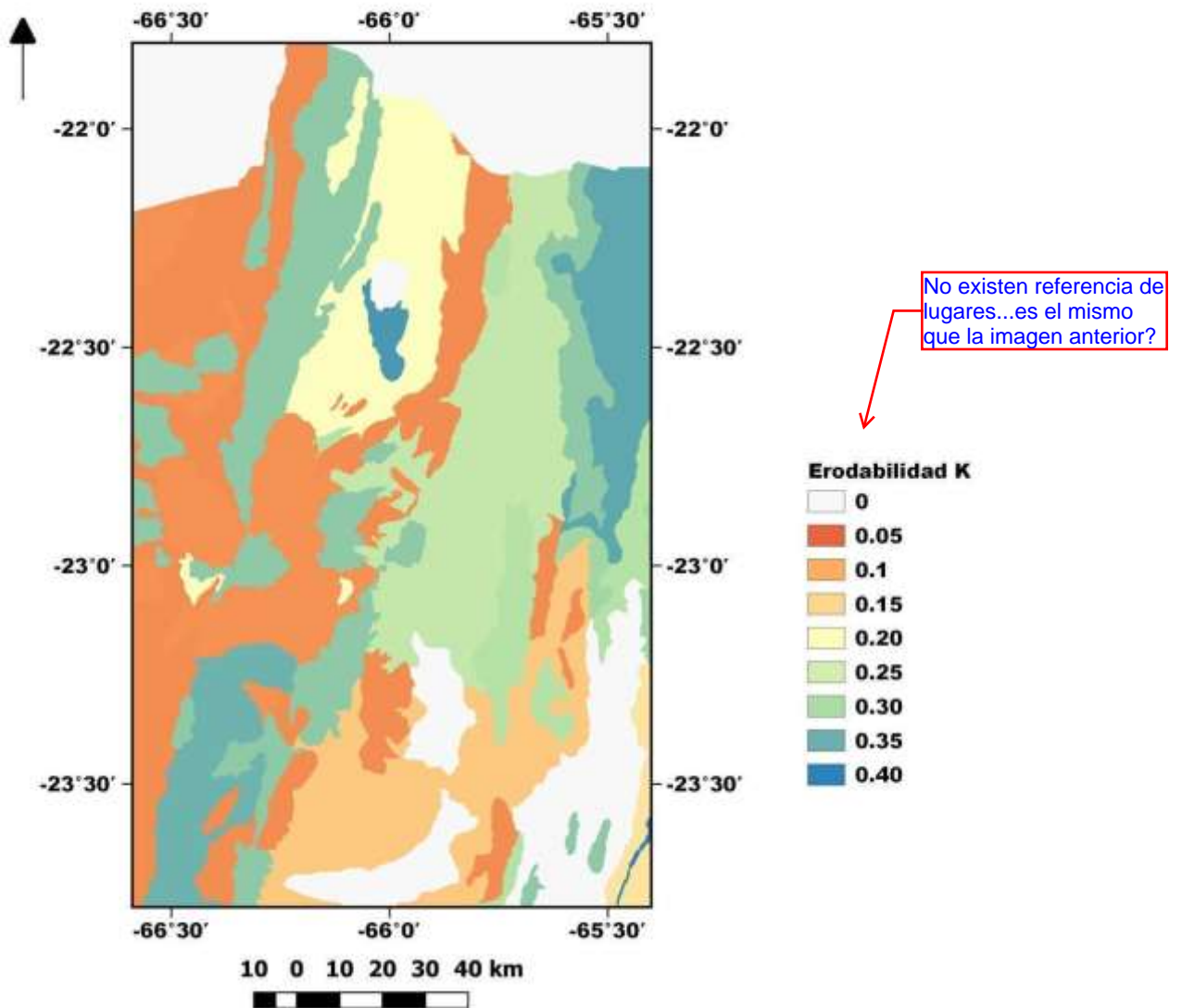


Figura 8. 7. Imagen de factor K. Fuente: Nadir A. Chafatinos T. (1990) y elaboración propia

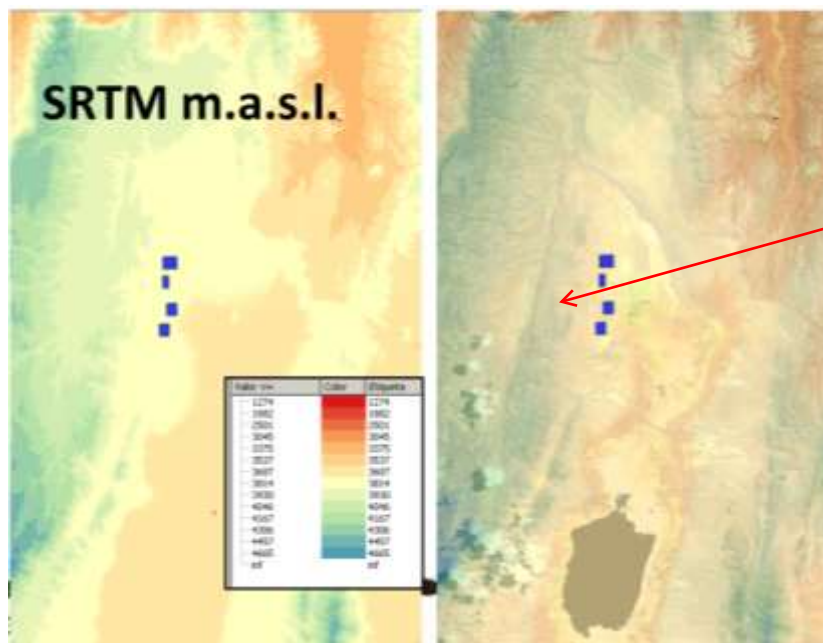
Los datos necesarios para estimar K fueron obtenidos a partir del trabajo de “Adecuación a un Sistema de Información Geográfica del Estudio de Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy)” de Nadir A. y Chafatinos T. (1990) elaborado por INTA y la Universidad Nacional de Salta en 2009. Se trabajaron con los suelos dominantes de mayor erodabilidad de cada asociación de suelo, para representar el escenario de mayor riesgo. Los porcentajes de materia orgánica, limo, arcilla y las clases texturales fueron obtenidos a partir de los datos de los subgrupos de suelos proporcionados en el trabajo de Paoli y col. (2009). En los casos en los que no había datos de análisis de laboratorio de los suelos se determinó el valor medio de limo, arcilla y arena para la clase textural correspondiente y se asume un contenido de materia orgánica de 0,5 %. Además, cuando no se encontraron información de la permeabilidad, ésta fue determinada según su clase textural de acuerdo a los trabajos de Irurtia et al (2007) Wischmeier y Smith (1978). Se obtuvo un mapa rasterizado con el valor de K para poder integrarlo al modelo con las otras fuentes de información. **Figura 8.7.**

El factor LS (Topográfico) se calculó multiplicando el factor de longitud (L) y el factor de la pendiente (S) a partir de las ecuaciones utilizadas en (Van der Knijff y col. 2000):

$$(3) \quad L = 1.4 \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^{0,4} \quad S = \left(\frac{\sin \beta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (3)$$

Ya lo explicaste en el putno 7.2.2.3. No es necesario repetir...

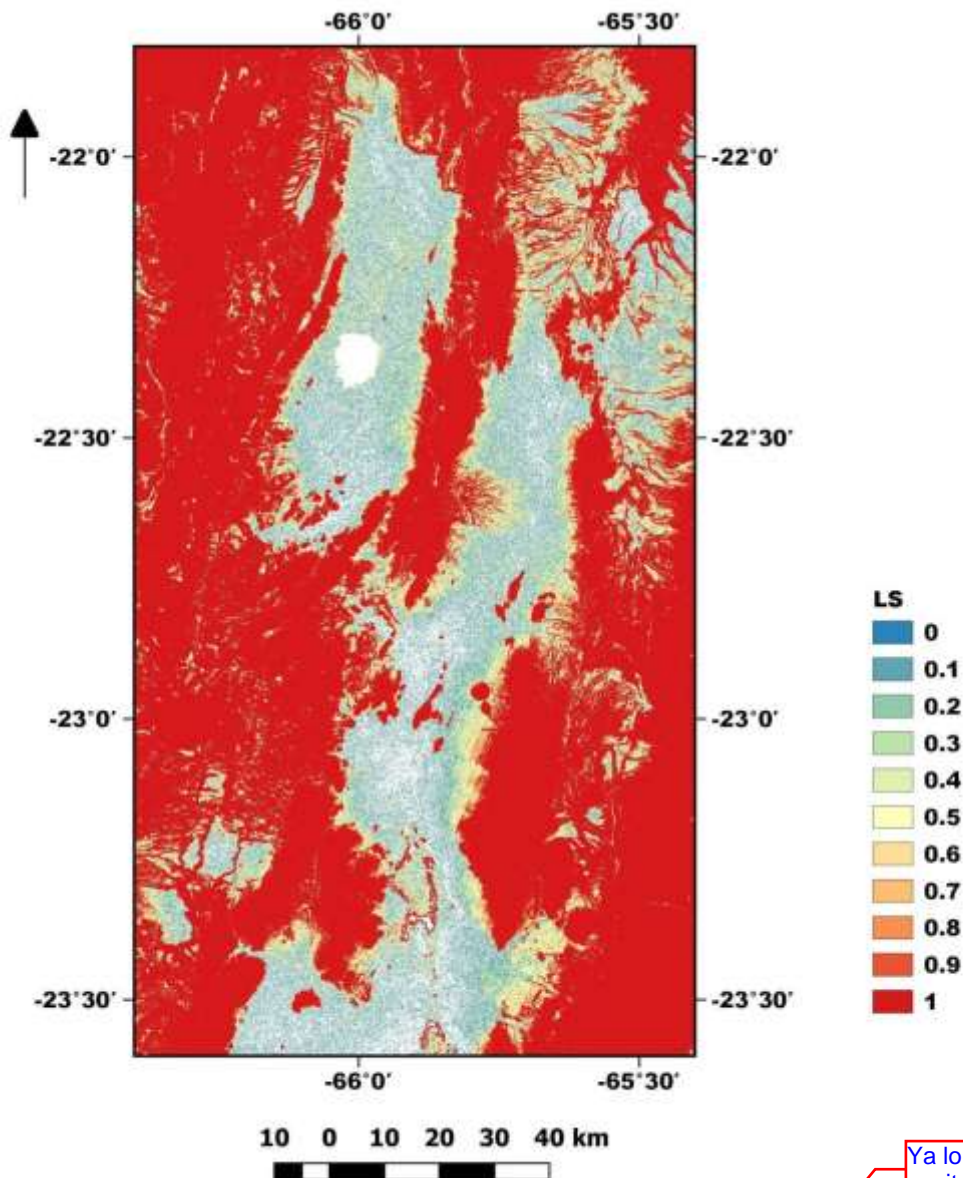
Donde A_s es el área específica de contribución ($m^2 m^{-1}$) y β es la pendiente en grados. Si bien en la ecuación original L multiplica por 1,4, en este trabajo se utilizó el valor 1 ya que se ajusta mejor al área de estudio con el factor estimado por la ecuación original de Wischmeier & Smith, 1978 y aplicada por Irurtia et al, 2007.



los cuadrados azules que serian los poligonos?? Cual es la diferencia entre las dos figuras???

Figura 8.8. Mosaico de imágenes del proyecto Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) de la NASA en formato raster de 3" de arco. Fuente: SRTM y elaboración propia.

Para obtener la pendiente se utilizaron las imágenes del proyecto Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) de la NASA en formato raster de 3" de arco. Se calculó el factor S en porcentaje, el área de contribución (A_s) fue determinado en un valor fijo a partir de la resolución espacial del píxel (90 metros). Figuras 8.8. y 8.9.



Ya lo explicaste en el capítulo 7

Figura 8.9. Imagen de factor LS. Fuente: elaboración propia

El factor C (Cobertura) de la ecuación USLE se obtuvo mediante:

$$C = \exp \left[-\alpha \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)} \right]$$

Donde α y β (en este caso con valores de 2 y 1 respectivamente) son parámetros que determinan la forma de la curva hipotética de NDVI-C (Van der Knijff et al, 2000). El NDVI fue obtenido a partir de imágenes del sensor MODIS a bordo del satélite Terra correspondientes al producto MOD13Q1 mediante:

$$NDVI = \frac{(IRC - R)}{(IRC + R)}$$

Donde IRC es la radiación reflejada en la región correspondiente al infrarrojo cercano (841 – 876 nm) y R la radiación reflejada en la región del rojo (620 – 670 nm)

recibida por el sensor del satélite. Los NDVI utilizados tienen una resolución espacial de 250 m por píxel y son una composición de 16 NDVI diarios. El período que se analizó estuvo comprendido por los años 2001-2010. A modo de ejemplo se muestra la imagen raster de C para el periodo 2008-2009 Figura 8.10.

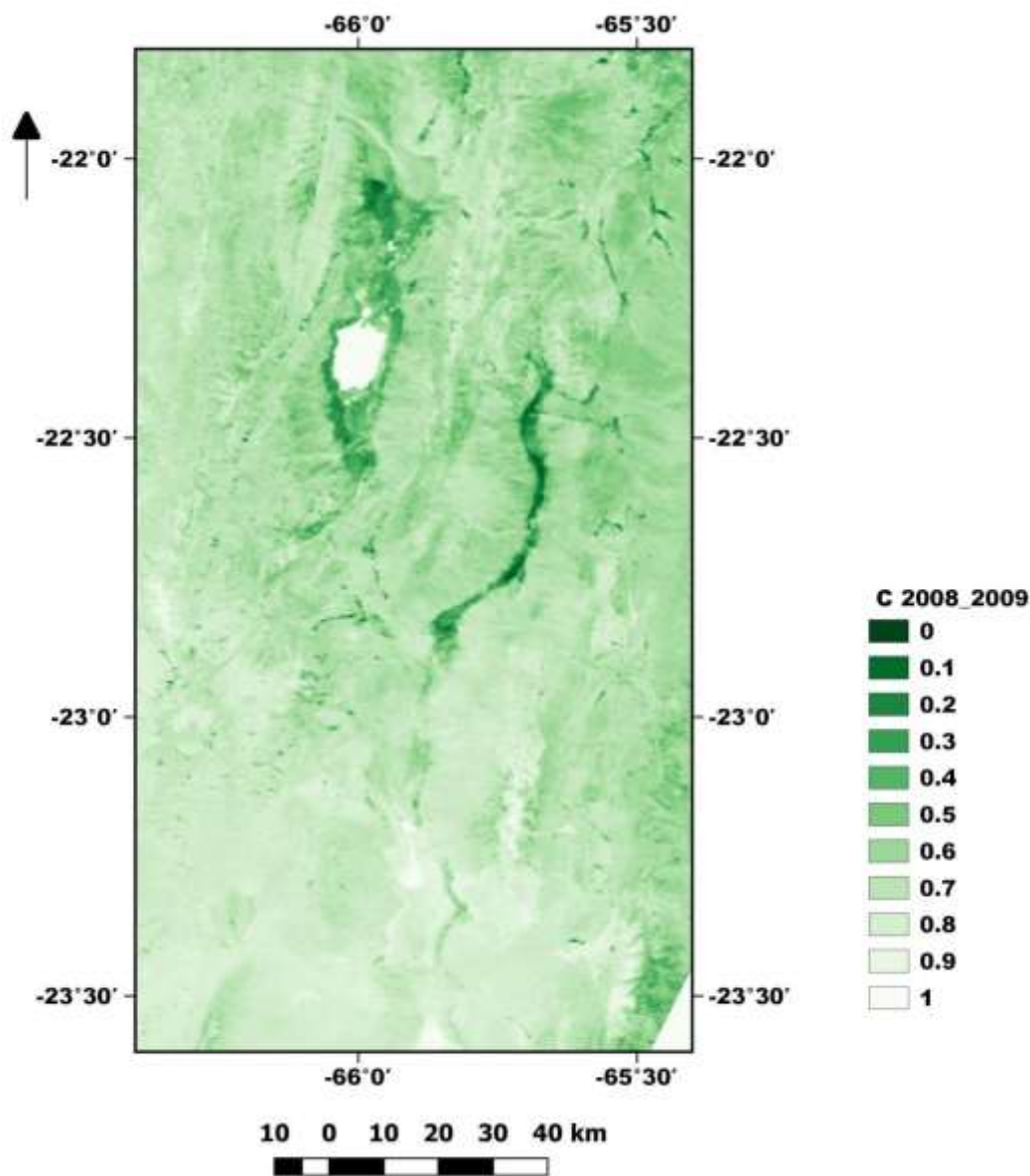


Figura 8.10. Imagen de factor C para el año 2008-2009. Fuente: MODIS y elaboración propia aplicando el algoritmo de Van der Knijff et al, (2000).

El factor P se determinó en el valor 1 porque no se tuvieron en cuenta la realización de prácticas específicas de conservación porque la mayoría de las tierras son dedicadas al pastoreo extensivo y además este representa el peor escenario.

A manera de ejemplo se muestra la erosión hídrica real para un periodo de lluvias 2008-2009. Figura 8.11.

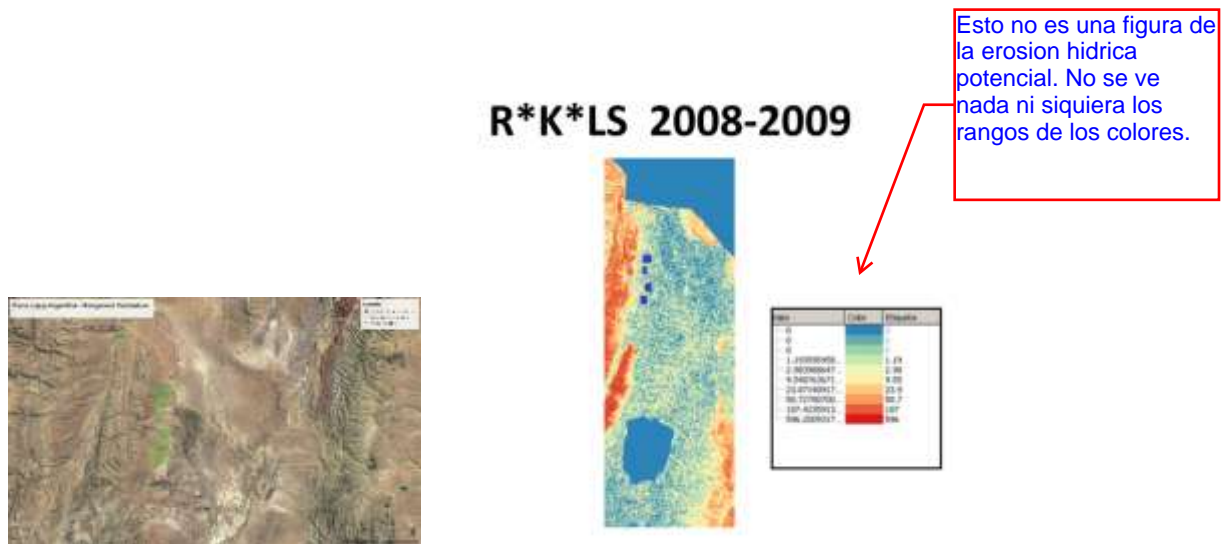


Figura 8.11. Erosión hídrica potencial en t ha⁻¹ año⁻¹. Los rectángulos en azul marcan las áreas de muestreo de *Pennisetum sp.* A modo de ejemplo se muestra la imagen raster de pérdida de suelo para el periodo 2008-2009. Fuente: elaboración propia

El marco del diagrama de flujo para el estudio de la erosión hídrica y su relación con el ENOS se describe en el flujo de la Figura 8.12.

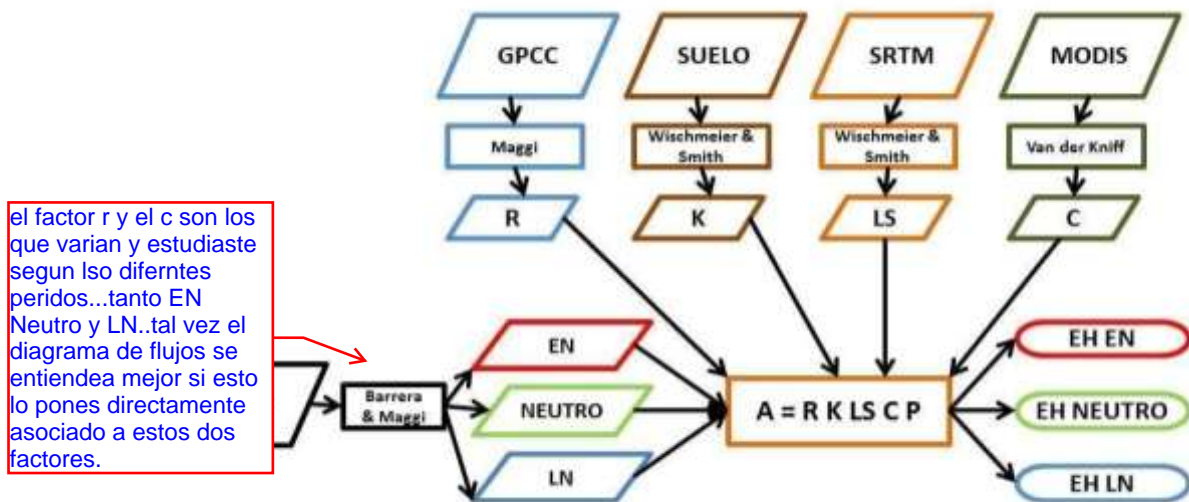


Figura 8.12. Diagrama de flujo las fuentes de datos, los algoritmos y factores para la estimación de la erosión hídrica en la Puna de Jujuy y su relación con el ENOS. Fuente: elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos se elaboró el promedio de la erosión para cada una de las fases de El Niño. Posteriormente, se realizó un análisis lógico y se calculó cuántos píxeles de *Pennisetum sp.* cumplían o coincidían con la tendencia de la hipótesis identificada con el siguiente orden de magnitud de pérdida de suelos: para los años La Niña mayor pérdida, seguido de la fase Neutra y por último la fase El Niño (NA>NE>NO). Si la estimación en los píxeles cumplía con esta condición se le asignó un valor (1) y en las Figuras se lo identificará con el nombre “Cumple”. Aquellos píxeles que no cumplían con esa condición (esta condición) se les asignaron el valor (0), este porcentaje de píxeles se lo denominó como “No cumple”.

Tabla 8.3. Porcentaje de píxeles que cumplen con la condición: Erosión es mayor en NA seguido de NE y NO. Fuente: elaboración propia

Pérdida de suelo (t ha ⁻¹ yr ⁻¹)	Erosión Potencial	Erosión Actual
H = [La Niña > Neutral > El Niño]	78%	75%
H ≠ [La Niña > Neutral > El Niño]	22%	25%

Dentro del período estudiado (2001 – 2010) se puede observar que la estimación de la erosión potencial es mayor que la actual Figura 8.13., como consecuencia de la influencia atenuante de la cobertura (Gitas et al 2009).

En la Figura 8.13., se puede ver que el año con mayor pérdida de suelo estimada para la erosión potencial fue el año 2007-08 correspondiente a la fase Niña. En cambio, la erosión actual estimada tuvo su mayor pérdida de suelo en el año 2009-10 correspondiente a la fase Niño. Por otro lado, el año con menor pérdida para todas las estimaciones fue el año 2004-05 correspondiente a un año Niño.

Estos resultados muestran que, si bien el fenómeno ENOS es uno de los factores de mayor influencia en la variación temporal de las precipitaciones y, por lo tanto, su incidencia en la erosión hídrica, existen otras fuentes de variación de las precipitaciones que las afectan y condicionan su cantidad anual como fue demostrado por Garreaud y Aceituno (2001) y que fuera demostrado en los capítulos 4,5, 6 y 7 debido a que las teleconexiones en el NOA no son tan marcadas como en otras partes del mundo. Además, la inercia de los años anteriores podría influir como los años previos a El Niño 2009-10 que durante los cuatro periodos anteriores se presentaron 3 eventos La Niña y uno neutro similar a lo observado en la laguna de los Pozuelos en el cap, 6.

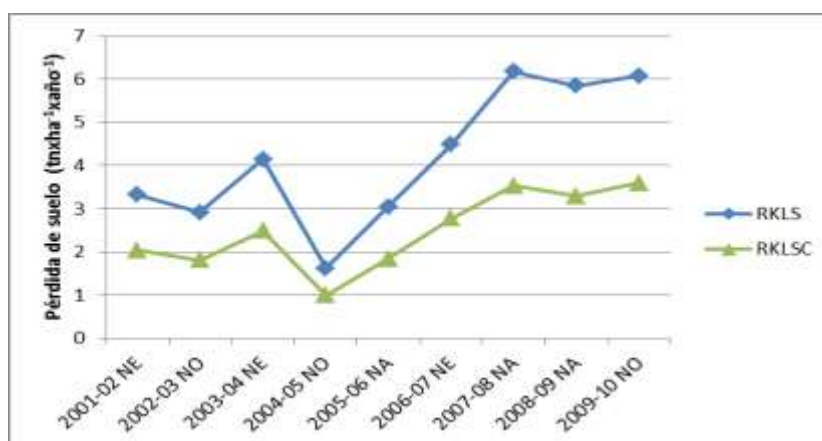


Figura 8.13. Pérdida de suelo potencial y actual estimada por año para *Pennisetum chilense*. Fuente: elaboración propia.

Al igual que en la erosión estimada para los distintos años Figura 8.13, sigue resultando mayor la erosión promedio estimada para las fases neutras y La Niña Tabla 8.3. y Figura 8.14. Además, la erosión fue mayor en las fases La Niña seguido de las Neutras y El Niño. y es más marcado en la erosión potencial respecto de la actual.

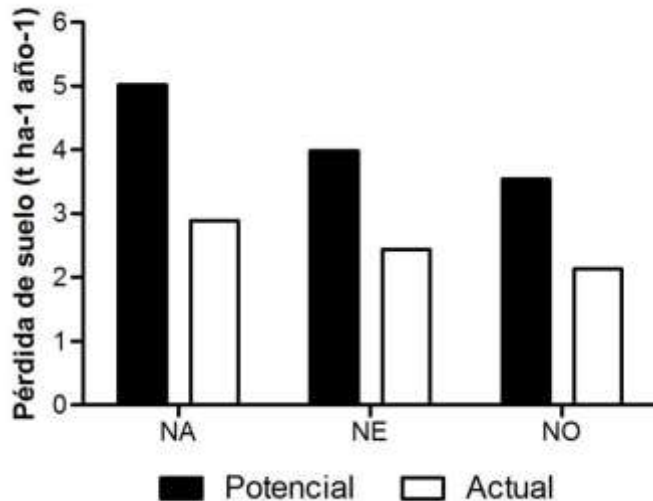


Figura 8.14. Promedio de pérdida de suelo potencial y actual estimada para *Pennisetum chilense* según fase del ENOS. Fuente: elaboración propia

En la tabla 8.3, se puede observar que tanto para la erosión potencial como la actual mantuvieron las proporciones. Se pudo identificar que el 78% para la erosión potencial y 75 % para la erosión actual de los píxeles mantienen la tendencia identificada en la Tabla 8.3. Por lo que la comunidad de esporales sería una buena indicadora del incremento de la erosión hídrica provocada por la presencia de la fase La Niña. Esta comunidad se comportaría como zonal, es una comunidad muy difundida en la Puna y ocupa una extensión territorial del 30%. Trabajos de relevamiento anteriores ya notaban una intensidad alta de erosión tanto hídrica como eólica por el continuo pastoreo y la baja estabilidad del suelo (Ruthsatz y Movía, 1975).

Los puntos muestreados a lo largo de las transectas señalan que tanto la erosión potencial como la erosión actual acompañan el relieve (Figuras 8.15. y 8.16.): En todas las transectas y para todas las fases del ENOS se nota como los picos máximos de erosión coinciden con la mayor pendiente del relieve y las zonas con bajo gradiente de la pendiente presentan la erosión más leve. Similares resultados fueron obtenidos por Massad et al (2000) (Šúri et al 2002), quienes muestran la importancia de la pendiente en estos paisajes.

Por otro lado, la erosión estimada va disminuyendo de Norte a Sur (Transecta 1 a 3) acompañando la disminución de las precipitaciones. Además, en todas las transectas se continúa la correlación entre las fases del ENOS y la estimación de la erosión registrada en la Figura 8.15., alcanzando valores superiores en la erosión potencial respecto de la actual. La erosión estimada es mayor en los años La Niña, seguido de las fases Neutras y luego El Niño, estas tendencias se confirman en las transectas Figuras 8.15. y 8.16. Es importante destacar que los valores estimados en este trabajo son de carácter relativo, ya que la ecuación USLE presente en áreas de gran pendiente (Farrish et al 1993) y allí es donde los presentan márgenes de error. Sin embargo, ello no invalida su utilidad, ya que la mayoría son absorbidos por el carácter de la escala regional del estudio. Su aplicación permitió identificar las zonas de mayor riesgo de erosión respecto de otras teniendo en cuenta los factores incluidos para su cálculo y además realizar comparaciones

Cuales serían esas zonas?? estaría bueno un mapa final donde se espacialice la información obtenida...

temporales en las que las modificaciones están determinadas principalmente por las distintas fases que afectan las precipitaciones y la cobertura vegetal. Figuras 8.15. y 8.16.

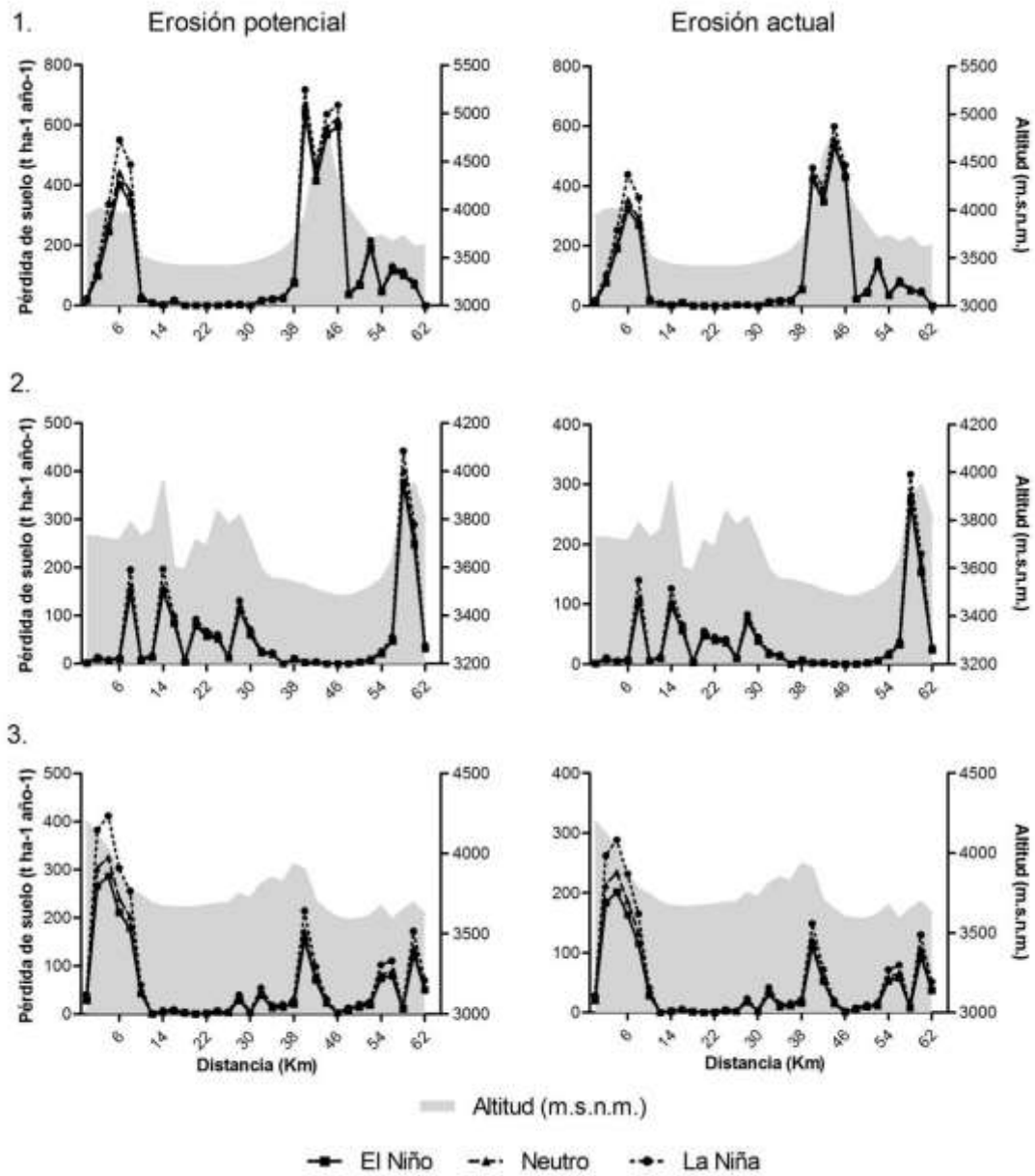


Figura 8.15. Perfiles de las transectas erosión hídrica potencial y actual $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ y sus relaciones con ENOS y la altura sobre el nivel del mar. Fuente: elaboración propia

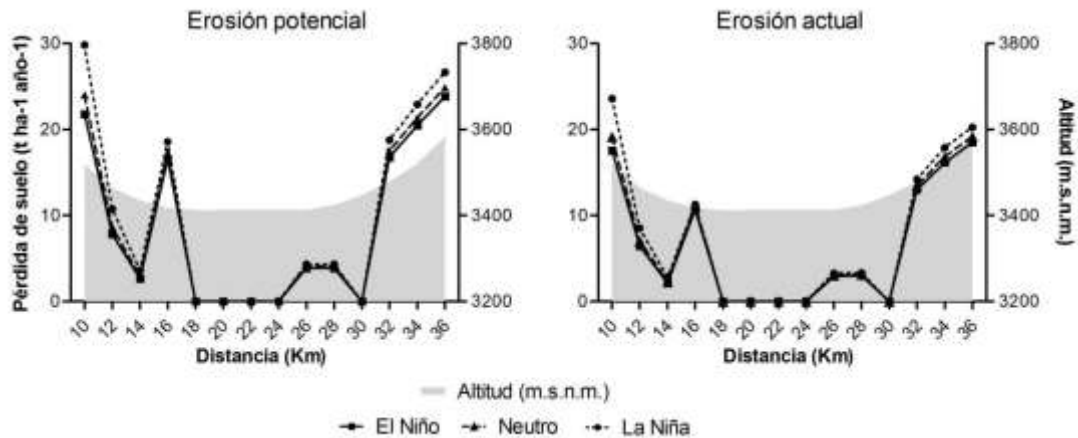


Figura 8.16. Detalle de los Perfiles de las transectas erosión hídrica potencial y actual $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ a la altura de laguna de los Pozuelos y sus relaciones con ENOS y la altura sobre el nivel del mar. Fuente: elaboración propia.

En la actualidad, USLE y el USLE revisado (RUSLE) son los modelos de predicción de erosión del suelo más ampliamente aplicados a nivel mundial según (Risse y otros, 1993). La USLE se ha utilizado en todo el mundo para una variedad de propósitos y bajo muchas condiciones diferentes, porque simplemente parece satisfacer la necesidad de estimar la EH con pocos datos mejor que cualquier otra herramienta disponible más compleja.

Como USLE ha sido frecuentemente criticado por su naturaleza empírica, Ferro (2010) demostró que la estructura original de USLE puede obtenerse teóricamente aplicando el análisis dimensional y la teoría de la auto-similitud (Barenblatt, 1979, 1981), usando las mismas variables representativas de la erosión del suelo y la condición de referencia adoptada por Wischmeier y Smith (1965). En otras palabras, utilizando el esquema de factores y la condición de referencia adoptada por Wischmeier y Smith (1965), Ferro (2010) desafía las críticas al origen empírico al afirmar que la USLE es una estructura lógica posterior con respecto a las variables utilizadas para simular el proceso físico de erosión del suelo. Sin embargo, con esta afirmación, siempre debemos tener en cuenta que los objetivos de modelado impulsados por USLE en el proceso físico de erosión del suelo y, por lo tanto, no serán capaces de simular el transporte o la captación de producción de sedimentos.

El paradigma de la naturaleza de los modelos de tipo USLE evalúa principalmente diferencias de las tasas de erosión modeladas (brutas) versus medidas (netas) en parcelas de escurrimiento, pero no contempla la producción de sedimento por escurrimiento concentrado. Alewell y col. (2019). Los modelos como USLE o RUSLE reducen un sistema muy complejo a uno simple al tiempo que mantienen los principales factores que influyen en el proceso de erosión del suelo (Renard y col., 1997). La USLE pertenece a los de modelos denominados de desprendimiento donde la pérdida de suelo ($t\ ha^{-1}\ año^{-1}$) se debe a los procesos de erosión laminar y en surco y se estima mediante la multiplicación de los factores contribuyentes.

Considerando investigaciones previas donde se aplicó y analizó la USLE y que además se implementó dentro de un SIG, se puede afirmar que su elección fue adecuada para comparar las fases de El ENOS en la Puna Jujeña.

Conclusiones

Se puede afirmar que fue posible desarrollar un modelo de erosión hídrica a partir de imágenes satelitales integradas en un SIG para la Puna jujeña. La ecuación USLE resulta de una herramienta práctica y sencilla para integrar los factores involucrados y poder llevar a cabo la estimación de la erosión, realizando los ajustes necesarios para la adecuación al área de estudio. Este modelo permitió avanzar en el mejor entendimiento en las variaciones temporales y espaciales de la erosión hídrica en una escala regional para una zona de difícil acceso y poca disponibilidad de información.

Se pudo observar la variación temporal a partir de la estimación de la erosión a lo largo de los años y luego promediado según las fases del ENOS, mostrando una menor pérdida de suelo durante el promedio de la fase El Niño. En el muestreo a lo largo de las transectas que atraviesan la Laguna de los Pozuelos, el valle de Abra Pampa y la Laguna de Guayatayoc se demostró la variación espacial de la erosión en sentidos Norte-Sur (latitud) y Este-Oeste (longitud) a lo largo de las transectas. Así mismo, se observó que efecto tiene la vegetación en la determinación de la erosión y se identificó a la pendiente como otro factor preponderante en la estimación de la erosión.

Se puso a prueba la hipótesis del comportamiento de la erosión en la comunidad de *Pennisetum* chilense, ubicada al norte de las transectas, según las fases del ENOS lo que posibilitó observar que presenta mayor erosión para los años La Niña y Neutro que los años El Niño. Por lo tanto, la comunidad de espornales podría ser indicadora de la disminución de la erosión hídrica provocada por la presencia de la fase El Niño respecto de las otras fases. Este análisis [cual cartografía? ver..](#) y en la comunidad de *Pennisetum* con el estudio de pérdida de suelo y considerando las distintas fases de El ENOS sirvió como estudio preliminar para desarrollar la cartografía en toda la región en un periodo mas prolongado a posteriori.

Los resultados obtenidos fueron los esperados en base a estudios previos realizados en la región tanto para la variación temporal como espacial lo cual indicaría la validez del desarrollo del modelo de erosión a través de un SIG. Los valores de erosión estimados en este trabajo permitirían establecer criterios para la determinación de medidas que podrían ser incorporados en el proceso de toma de decisiones para el manejo y desarrollo sustentable de la región especialmente para autoridades responsables en la gestión de los recursos naturales. Se requerirán realizar estudios más exhaustivos para poder establecer las relaciones significativas de los factores involucrados en el proceso de erosión hídrica en la Puna jujeña y los valores de ajuste de las variables intervinientes en las estimaciones realizadas.

8.3.2. Erosión eólica RWEQ

La erosión eólica es un proceso geomórfico complejo que integra múltiples factores, lo que dificulta la parametrización integral de los factores para evaluaciones a escala regional (Funk y Reuter, 2008). Los modelos a escala de campo más avanzados (p. Ej., El modelo revisado de erosión eólica de Fryrear y col., 2000) son más complejos.

Finalmente, se realizó una estimación de la pérdida de suelo por erosión eólica mediante la Ecuación de Erosión Eólica (WEQ) (Ec. 1) y su versión revisada (RWEQ). Si bien se utilizó la WEQ como base, se calcularon algunos componentes (Factor C y Factor I) aplicando la RWEQ, que permite realizar el cálculo para períodos de tiempo distintos a los anuales y contempla una mayor cantidad de variables del clima y el manejo (principalmente los cambios en la cobertura vegetal) (Buschiazzo et al, 1999). De todas maneras, al estar desarrollada con una orientación específica a situaciones de producción agrícola y dado que se aplicó al estudio de un área protegida, utilizamos como apoyo para el cálculo de la cobertura vegetal, el trabajo de Carlson & Ripley (Carlson & Ripley, 1997) y las funciones de Maggi y Ponieman (2018). Ésta se calculó para el año 2012 en las dos comunidades escogidas, para el período julio-diciembre, que se corresponde con el período de menor cobertura vegetal (característica vinculada al régimen estacional de ocurrencia de las precipitaciones) y de vientos de mayor velocidad, generándose condiciones predisponentes a la erosión eólica.

$$E = f(I', K', C', L', V')$$

(Ec. 1)

Dónde:

E = erosión medida en tn (ha.año)⁻¹.

I' = índice de erodabilidad del suelo.

K' = factor de rugosidad.

C' = factor climático local.

L' = longitud del terreno en la dirección prevaleciente de los vientos.

V' = el equivalente de cobertura de vegetación medida en kg.ha⁻¹.

ya lo explicaste antes...

esta no es la ecuacion 1 en la tesis...

En el desarrollo de los mapas de erosión hídrica cada factor de la USLE fue transformado en una capa raster y la multiplicación de todas las variables pixel por pixel, generando un valor de pérdida de suelo por pixel para cada período como se explicó en el punto 8.3.1. En cambio, para la aplicación de la RWEQ y la generación de los mapas de EE se usó como base los polígonos del mapa de suelos de Nadir y Chafatinos. Usando un SIG vectorial facilito la aplicación de RWEQ porque las variables climáticas requieren de muchos datos para su cálculo y estos solo se pueden obtener en algunas estaciones meteorológicas. Además, los datos de los suelos requeridos para el mapa de EE, derivan de la tabla de atributos con su base de datos asociada a los polígonos que representan las unidades cartográficas de su mapa de suelos. en la tabla de atributos del mapa de suelos Se agregaron los campos EF y los promedios de cada fase de EI ENOS: WF EN, WF NE, WF LN, SLR EN, SLR NE y SLR LN. Los valores WF de cada fase surgen de cálculos realizados en planillas Excel usando los algoritmos para el cálculo de WF (siguiendo el punto 7.3) y para cada polígono se obtuvo un valor promedio por fase ENOS (del mismo modo se obtuvieron los datos de SLR de los excels). Usando los datos del mapa de suelo y aplicando las funciones de RWEQ se obtuvieron los valores del campo que posee el factor EF.

??? es una cita???

El porcentaje de suelo cubierto (psc) se obtuvo, por una parte, aplicando las funciones de cobertura vegetal y NDVI, desarrolladas en el capítulo 5, en planillas

Excel y por otra se su sumo el porcentaje de cobertura de piedras (dato obtenido de las planillas del SP Puna ONDTyD y del mapa de suelos), se obtuvo el psc por fase y luego se cargó el promedio por fase para cada registro de cada polígono en la capa shape. Luego se aplicando aritmética se genera el valor de SLR (Soil Loss Rate) por fase.

Mediante la multiplicación de los valores promedios de los registros de cada parámetro de la RWEQ correspondientes a la misma fase, se obtiene el valor de pérdida de suelo x erosión eólica por fase ENOS para ello se crearon tres campos más EE EN, EE NE y EE LN. Resumiendo, en el primer caso para erosión hídrica se aplicó modelado raster mientras que, en erosión eólica, por razones operativas, se aplicó un SIG vectorial. El desarrollo y análisis involucró el período 2000-2015. Cada periodo involucra el ciclo de julio a junio y de esta forma se encuentra la época de mayores vientos seguida por la estación de lluvias y finalmente el ingreso a la estación seca o sin lluvias. El ciclo es similar a la EH ver 8.3.1.

I' = índice de erodabilidad del suelo.

Para determinar el índice de erodabilidad del suelo (I), o fracción erodable (EF), se utilizó la información de variables edáficas brindada por **Nadir y Chafatinos (Ec. 2)**

$$EF = (29.09 + 0.31Sa + 0.17Si + 0.33Sa/Cl - 2.590MO - 0.95 CaCO_3) / 100$$

(Ec. 2)

dónde:

Sa = contenido de arenas, % (de 5.5 a 93.6).

Si = contenido de limo, % (de 0.5 a 69.5).

Sa/Cl = relación entre arena y arcilla (de 1.2 a 53.0).

MO = materia orgánica, % (de 0.18 a 4.79)

CaCO₃ = carbonato de calcio, % (de 0.0 a 25.2).

La ecuación es válida para suelos con contenidos de Sa/Cl y MO citados entre paréntesis.

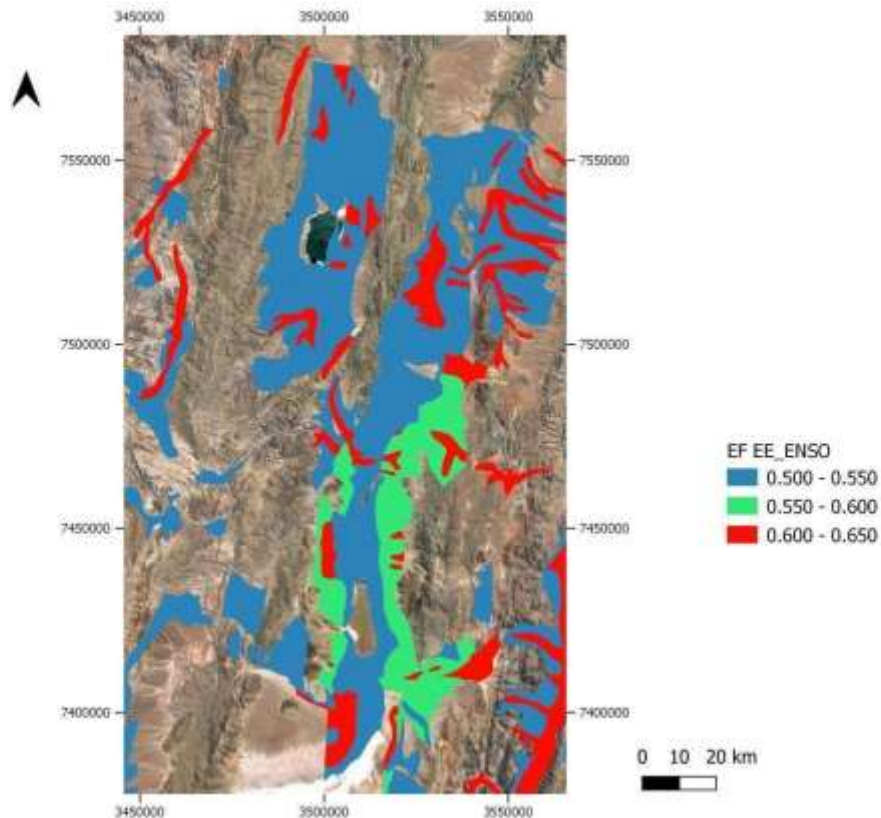


Figura 8.17. Imagen del factor EF. Proyección Gauss Kruger faja 3. A partir de los datos provistos en los registros de los polígonos que representan las unidades cartográficas dominantes publicadas por Nadir y Chafatiños. Elaboración propia. citas. No estan bien!

Se tuvieron en cuenta las asociaciones de suelos que predominan en las unidades cartográficas descritas por Nadir y Chafatiños. Además, se consideraron otras fuentes secundarias de las texturas descritas en: Estudio de suelos de la Puna jujeña 2 da parte. Proyecto multinacional (PEM-OEA/065) Rocca, y otros, (1984) UNJU; tesis de Mg. Sci. Navone, (1996); tesina de grado, Massad (1998) y de campañas realizadas en proyectos UBACyT, FAO, CONAE y ONDTyD.

La textura no descripta se determinó convirtiendo las clases texturales para las áreas de muestreo a valores porcentuales mediante el triángulo textural de la USDA, con la presunción de que los suelos bajo estudio se corresponden con los valores medios de las clases definidas. Se utilizó el mismo criterio de valores medios para los niveles de MO y CaCO₃. El factor de erodabilidad no fue afectado por el de encostramiento, ya que son pocos los eventos que se registran precipitación superior a 12 mm para el período analizado, siendo una condición necesaria para su consideración. **Figura 8.17.**

Como se observa en la Figura 8.17., los lugares con mayor proporción de materiales finos mantienen coeficientes más bajos y los más elevados se corresponden con los médanos y ríos secos ricos en arenas. Su coeficiente varía principalmente a lo largo del terreno.

K'= factor de rugosidad.

A la rugosidad (factor K) se le asignó un valor de 1, sabiendo que el área bajo estudio, en general, no se encuentra bajo labranza y por lo tanto no cuenta con crestas artificiales que conforman rugosidad orientada. La rugosidad no orientada es muy variable en la planicie del altiplano entre los cordones montañosos. Esta última pierde efecto rápidamente cuando desaparece la cubierta vegetal, es por ello que se asumió como si fuera una planicie lisa sin obstáculos alcanzando su máximo potencial. Asumimos la peor condición.

C'= factor climático local.

Con respecto al factor climático (C), se calculó el Factor Tiempo (WF) (Ec. 3) para períodos quincenales, unificándose luego para tener un valor mensual y para todo el período. Se utilizaron los datos diarios de velocidad media del viento a 2 m y los datos de precipitaciones. (Ec. 2). La misma fue desarrollada en el punto 7.2

Si, pero no se llamaba ec 2 y aca ya presntanste varias antes.

$$WF = Wf (\rho/g) (SW) SD \quad (Ec. 2)$$

Dónde:

WF = factor tiempo, $kg \cdot m^{-2}$.

Wf = factor viento, $(m \cdot seg^{-1})^3$.

ρ = densidad del aire, $kg \cdot m^{-3}$.

g = aceleración de la gravedad, $m \cdot seg^{-2}$.

SW = humedad del suelo, adimensional.

SD = factor cobertura.

Se tomó una densidad del aire aproximada de 1 kg m^{-3} por no tener el dato certero, sabiendo que, a mayor altura, la densidad será menor a la referida, y una aceleración de la gravedad de $9,8 \text{ m s}^{-2}$. Se despreció el factor SD que refiere a la cobertura de la superficie con nieve, ya que en el área de estudio los eventos de nevadas son esporádicos y no contamos con el registro de los mismos. El factor de humedad del suelo (SW) fue considerado para los días en que no se registraron lluvias, asumiendo un valor uno (1) y fue despreciado para los días en que se registraron precipitaciones asumiendo un valor cero (0), sabiendo que la humedad del suelo incrementa la resistencia del mismo a la erosión. (Buschiazzo et al, 1999).

L'= longitud del terreno en la dirección prevaeciente de los vientos.

El factor de longitud del terreno en la dirección prevaeciente de los vientos (L) fue despreciado, se asume que en el altiplano es una superficie libre de obstáculos, no

existen cortinas forestales. Los arbustos y pasturas si bien favorecen la acumulación de material a sotavento, desaparecen y se renuevan permanentemente modificando su disposición espacial. Al no poder estimarse, se plantea el peor escenario y el máximo potencial y por lo tanto se asumió un valor de 1.

V' = el equivalente de cobertura de vegetación medida en kg.ha⁻¹.

Para determinar el factor V, equivalente de cobertura de vegetación, se calculó la tasa de pérdida de suelo (SLR) de acuerdo a lo propuesto en el trabajo de Buschiazzo. (Ec. 3) Para estimar este factor se adoptó la ecuación propuesta en la WEQ, ya que las funciones propuestas por la RWEQ fueron desarrolladas para zonas agrícolas.

$$SLR = \exp(-0.0438 * psc) \quad (Ec. 3)$$

Dónde:

psc es el porcentaje de suelo cubierto por material no erosionable.

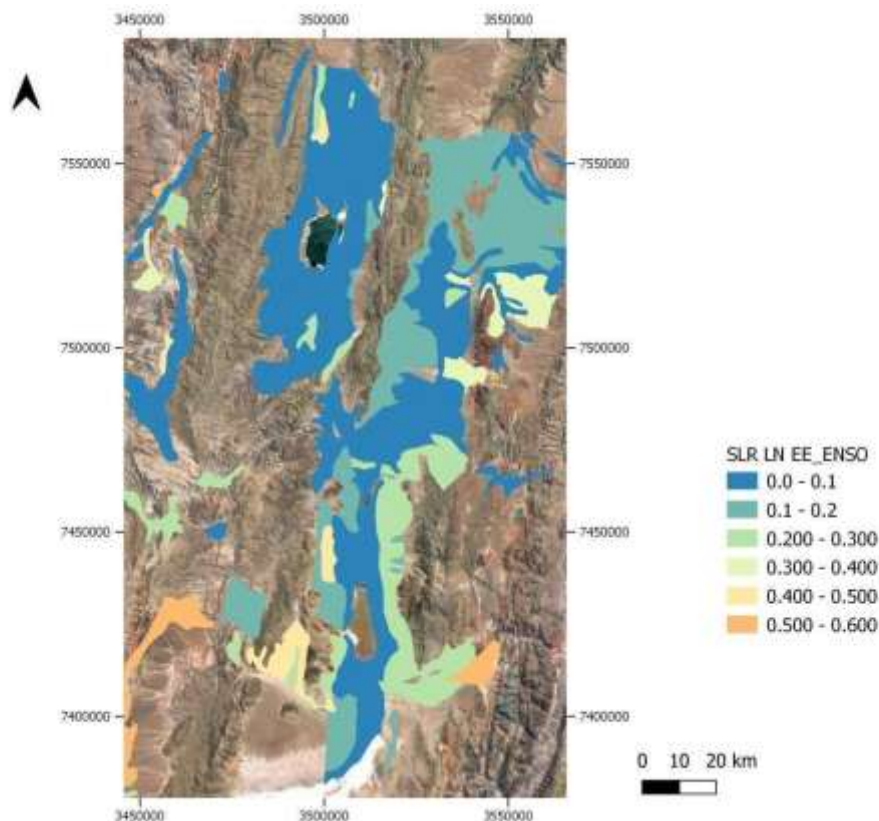


Figura 8.18. Imagen del factor SLR Tasa de pérdida de suelo evento La Niña en la Puna de Jujuy. Proyección Gauss Kruger faja 3. Elaboración propia.

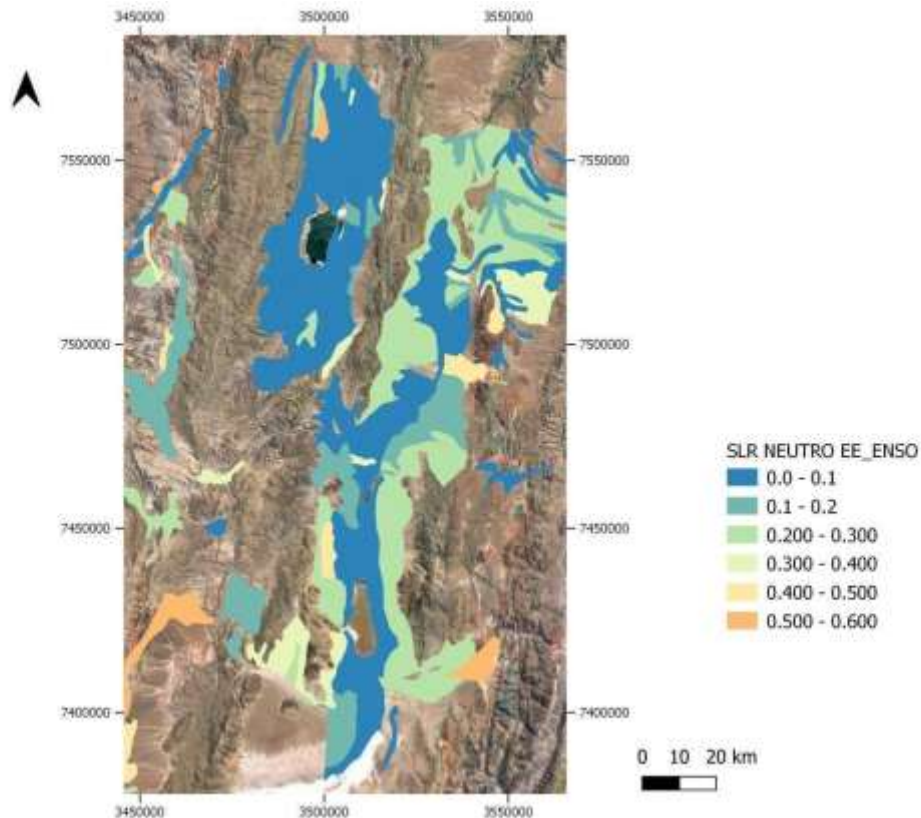


Figura 8.19. Imagen del factor SLR Tasa de pérdida de suelo evento Neutro en la Puna de Jujuy. Proyección Gauss Kruger faja 3. Elaboración propia.

Los mapas del factor SLR para cada fase se presentan en las Figuras 8.18., 8.19. y 8.20.

El psc es el porcentaje de suelo cubierto por material no erosionable y para cada polígono se cuantifico a partir del análisis de varias fuentes: las planillas del ONDTyD, Tesis de grado y posgrado de la región, aplicación de las funciones de estimación de cobertura vegetal partir de datos MODIS, y otras publicaciones provenientes de proyectos UBACyT. Para determinar el psc, se asumió como material no erosionable la suma del porcentaje de suelo cubierto por vegetación viva y piedras. La cobertura vegetal (CV) es estimada a partir de las ecuaciones y ajustes descritos a partir del NDVI obtenidos de las imágenes MODIS Capítulo 6 y las observaciones realizadas por el ONDTyD mencionado en el Capítulo 1. Para la pedregosidad en superficie se consideró el mapa de Nadir y Chafatiños y las planillas del ONDTyD y se asume que el material vegetal muerto y la presencia de mantillo son poco significativos ya que cubren poca superficie de terreno y además gran parte se descompone y/o es arrastrado por el escurrimiento o recogido por los pobladores.

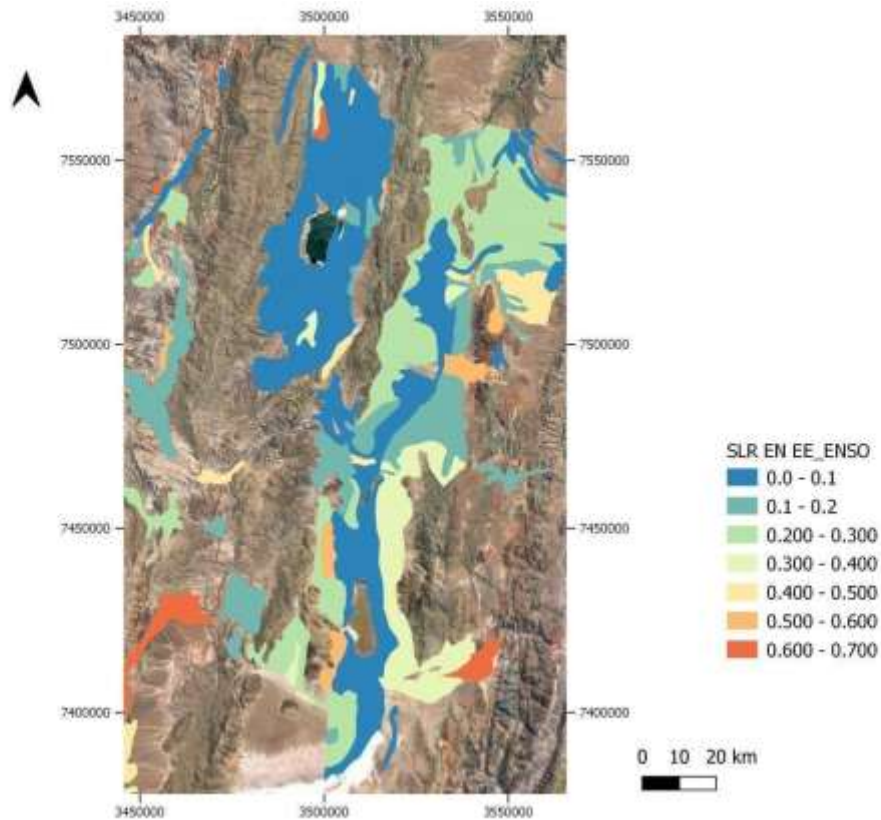


Figura 8.20. Imagen del factor SLR Tasa de pérdida de suelo evento El Niño en la Puna de Jujuy. Proyección Gauss Kruger faja 3. Elaboración propia.

En la misma se considera un umbral de 12 tn ha^{-1} como una pérdida de suelo considerable como erosiva.

Colectores Wilson & Cook

Para validar los datos de pérdida de suelo por erosión eólica, fueron monitoreadas los colectores Wilson and Cook instalados en la EE Abra Pampa en el SP Puna del ONDTyD por Eduardo Ochner y Alejandro Maggi y se ordenaron los datos según la fase de El ENOS para realizar un estudio preliminar. En las Figuras 8.21 y 8.22. se muestra un esquema y foto en el terreno de la instalación de un mástil con los colectores de partículas en tres alturas.

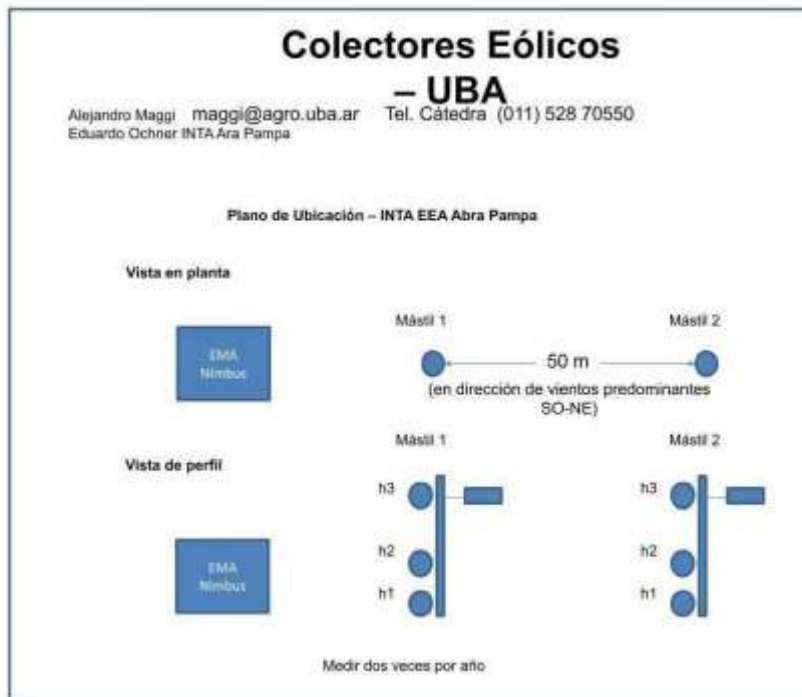


Figura 8.21. Esquema de disposición de los colectores W&C. Fuente: EEA INTA Abra Pampa y FAUBA.



Figura 8.22. Foto de un mástil W&C en el lote. Fuente: EEA INTA Abra Pampa y FAUBA.

Fórmula de Zingg (1953) ---->

$$Q = a Z^b$$

$$Q = aZ^b$$

(Q: Flujo de masa, Z: altura)

$$\int_0^l aZ^b dZ$$

Recolección de datos

Tabla 8.4. Tabla de colecta de datos

Fecha: 04/08/2016		Nro. Días: 341	
Mástil	Altura	Peso (g)	Observaciones
Nro. 1 (SO)	H1 (inferior)	0.0946	
	H2 (medio)	0.0532	
	H3 (superior)	0.0587	
Nro. 2 (NE)	H1 (inferior)	0.0793	
	H2 (medio)	0.0273	Parcialmente obturado por
	H3 (superior)	0.0383	

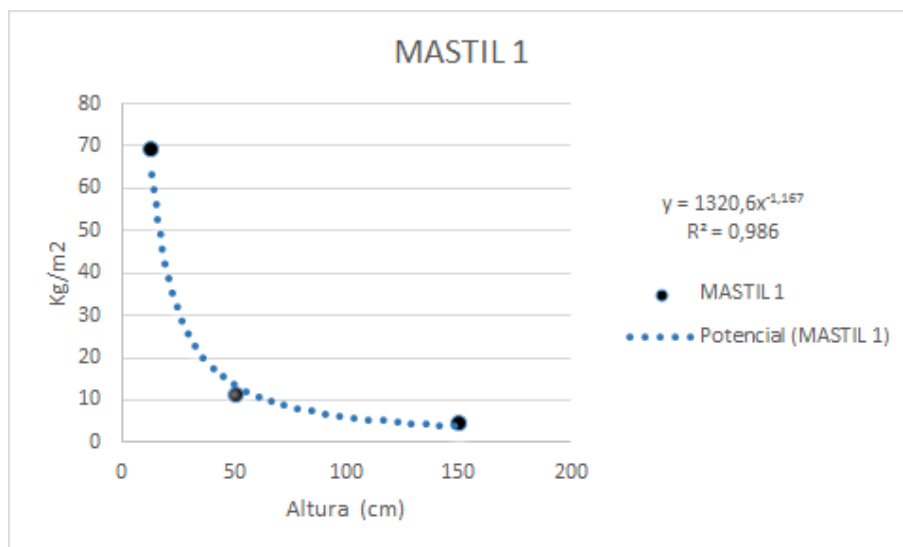


Figura 8.23. Perfil y función de un mástil del sedimento recolectado en cada altura y para una fecha, a modo de ejemplo. Fuente: Eduardo Ochner y Alejandro Maggi.

En la Figura 8.21., se muestra un esquema de la ubicación de los colectores de partículas y la Figura 8.22., una foto en el terreno. Finalmente se muestra el gráfico con la función de peso de partículas colectadas por metro cuadrado en las distintas alturas de un mástil en un período de medición Figura 8.22. Luego se aplica la integral para esa función.

Tabla 8.5. Cálculo de flujo de masa (kg ha^{-1})

04/08/2016 NIÑO ESTO CORRESPONDE A LOS 341 D DESDE 28-8-2015						
	Mástil	Altura	Altura (m)	Peso (g)	Sup (mm ²)	Flujo de masa (kg m^{-2})
	M1	H1	0.135	0.0946	78.5	1.204
	M1	H2	0.500	0.0532	78.5	0.677
	M1	H3	1.500	0.0587	78.5	0.747
	M2	H1	0.135	0.0793	78.5	1.010
	M2	H2	0.500	0.0273	78.5	0.348
	M2	H3	1.500	0.0383	78.5	0.488
26/01/2017 NEUTRO 175 D						
	Mástil	Altura	Altura (m)	Peso (g)	Sup (mm ²)	Flujo de masa (kg m^{-2})
	M1	H1	0.135	0.0464	78.5	0.591
	M1	H2	0.500	0.0258	78.5	0.328
	M1	H3	1.500			
	M2	H1	0.135	0.1055	78.5	1.343
	M2	H2	0.500			

	M2	H3	1.500	0.0062	78.5	0.079
05/06/2017 NEUTRO 130 D						
	Mástil	Altura	Altura (m)	Peso (g)	Sup (mm2)	Flujo de masa (kg/m2)
	M1	H1	0.135	0.0723	78.5	0.921
	M1	H2	0.500	0.0113	78.5	0.144
	M1	H3	1.500	0.0117	78.5	0.149
	M2	H1	0.135	0.1350	78.5	1.719
	M2	H2	0.500	0.0090	78.5	0.115
	M2	H3	1.500	0.0120	78.5	0.153
13/11/2017 NEUTRO 161 D						
	Mástil	Altura	Altura (m)	Peso (g)	Sup (mm2)	Flujo de masa (kg m ⁻²)
	M1	H1	0.135	0.0650	78.5	0.828
	M1	H2	0.500	0.0540	78.5	0.688
	M1	H3	1.500	0.0592	78.5	0.754
	M2	H1	0.135	0.0441	78.5	0.561
	M2	H2	0.500	0.0476	78.5	0.606
	M2	H3	1.500	0.0434	78.5	0.553
15/05/2018 NIÑA 183 D						
	Mástil	Altura	Altura (m)	Peso (g)	Sup (mm2)	Flujo de masa (kg m ⁻²)
	M1	H1	0.135	0.0712	78.5	0.907
	M1	H2	0.500		78.5	

	M1	H3	1.500	0.0102	78.5	0.130
	M2	H1	0.135	0.0559	78.5	0.712
	M2	H2	0.500	0.0101	78.5	0.129
	M2	H3	1.500	0.0079	78.5	0.101
15/11/2018 NIÑA 184 D						
	Mástil	Altura	Altura (m)	Peso (g)	Sup (mm²)	Flujo de masa (kg m⁻²)
	M1	H1	0.135	0.0332	78.5	0.423
	M1	H2	0.500	0.0245	78.5	0.312
	M1	H3	1.500	0.0402	78.5	0.512
	M2	H1	0.135	0.0272	78.5	0.346
	M2	H2	0.500	0.0326	78.5	0.415
	M2	H3	1.500	0.0310	78.5	0.395

La integral definida entre 0 y 1 corresponde a una sección vertical de 1 m² y a una superficie del terreno de 1 x 50 m = 50 m² (porque la separación entre mástiles es de 50 m).

Tabla 8.6. Integral y cálculo de pérdida de suelo en (t ha⁻¹).

Q = a Z^b	a	b	Mástil	Integral	Kg ha⁻¹	g m⁻²	Tn ha⁻¹	mm	Observaciones
	0.7247	-0.206	Mástil 1	0.912	182	18.2	0.2		04/08/2016 NIÑO
	0.4354	-0.318	Mástil 2	0.637	127	12.7	0.1		

Diferencia M2-M1 = Pérdida ó acumulación					-55	-5.5	-0.1	0.0	Por el período comprendido, no es fácil determinar si el viento provino del SO ó del NE.
Q = a Z^b	a	b	Mástil	Integral	Kg ha⁻¹	g m⁻²	Tn ha⁻¹	mm	Observaciones
	0.2408	-0.448	Mástil 1	0.434	87	8.7	0.1		26/01/2017 NEUTRO
	0.1272	-1.177	Mástil 2	2.950	590	59.0	0.6		Hay erosión eólica
Diferencia M2-M1 = Pérdida ó acumulación					503	50.3	0.5	0.0	Si se asume que los vientos predominantes en la época seca son del SO, es de esperar que los valores más altos se observen en el Mástil Nro. 2 (bajo el supuesto de que hay erosión y no deposición de material)
Q = a Z^b	a	b	Mástil	Integral	Kg ha⁻¹	g m⁻²	Tn ha⁻¹	mm	Observaciones
	0.1493	-0.777	Mástil 1	0.584	117	11.7	0.1		05/06/2017 NEUTRO
	0.1407	-1.039	Mástil 2	1.559	312	31.2	0.3		Hay deposición de material
Diferencia M2-M1 = Pérdida ó acumulación					195	19.5	0.2	0.0	Si se asume que los vientos predominantes en la época húmeda son del NE, es de

									esperar que los valores más altos se observen en el Mástil Nro. 1 (bajo el supuesto de que hay erosión y no deposición de material)
$Q = a Z^b$	a	b	Mástil	Integral	Kg ha ⁻¹	g m ⁻²	Tn ha ⁻¹	mm	Observaciones
	0.7303	-0.042	Mástil 1	0.762	152	15.2	0.2		13/11/2017 NEUTRO
	0.5709	-0.005	Mástil 2	0.574	115	11.5	0.1		Hay deposición de material
Diferencia M2-M1 = Pérdida ó acumulación					-38	-3.8	0.0	0.0	Si se asume que los vientos predominantes en la época seca son del SO, es de esperar que los valores más altos se observen en el Mástil Nro. 2 (bajo el supuesto de que hay erosión y no deposición de material)
$Q = a Z^b$	a	b	Mástil	Integral	Kg ha ⁻¹	g m ⁻²	Tn ha ⁻¹	mm	Observaciones
	0.1801	-0.807	Mástil 1	0.775	155	15.5	0.2		15/05/2018 NIÑA
	0.1114	-0.828	Mástil 2	0.515	103	10.3	0.1		Hay erosión eólica
Diferencia M2-M1 = Pérdida ó acumulación					-52	-5.2	-0.1	0.0	Si se asume que los vientos predominantes en la

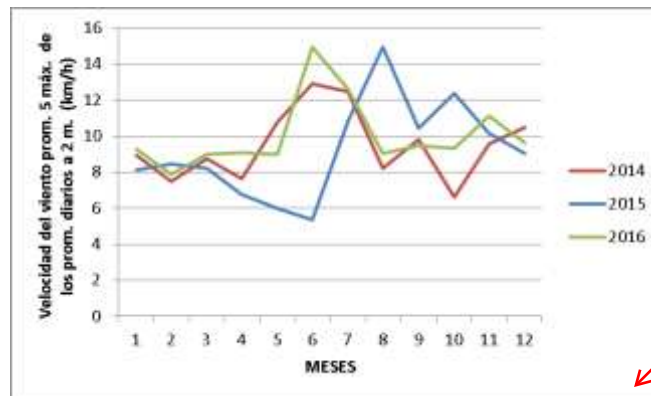
									época húmeda son del NE, es de esperar que los valores más altos se observen en el Mástil Nro. 1 (bajo el supuesto de que hay erosión y no deposición de material)
$Q = a Z^b$	a	b	Mástil	Integral	Kg ha ⁻¹	g m ⁻²	Tn ha ⁻¹	mm	Observaciones
	0,4294	0,0696	Mástil 1	0,4013	80	8	0.1		15/11/2018 NIÑA
	0,4013	0,057	Mástil 2	0,3796	76	7.6	0.1		Hay deposición de material
Diferencia M2-M1 = Pérdida ó acumulación					-4	-5.2	-0.4	0.0	Si se asume que los vientos predominantes en la época seca son del SO, es de esperar que los valores más altos se observen en el Mástil Nro. 2 (bajo el supuesto de que hay erosión y no deposición de material)

Fuente: Eduardo Ochner y Alejandro Maggi.

Durante las fases NE y NA se produjeron periodos de sedimentación y pérdida por erosión eólica. Durante la fase EI NO solo se registró erosión. Esta metodología nos permite relacionar cuando se produce sedimentación y cuando erosión eólica, que magnitud y en qué fase de EI ENOS. Los resultados son orientativos y muy preliminares y se requieren muchos años para concluir. Tabla 8.4., 8.5 y 8.6.

El promedio de las 5 máximas velocidades de vientos de los promedios diarios a 2 m. en km h⁻¹ de AP son elevadas entre julio de 2015 y junio de 2016 alcanzando los 5 m s⁻¹., coincidiendo con la fase El Niño con la captura de sedimentos en los colectores W&C. Tabla 8.6 y Figura 8.23.

El potencial de deriva (DP) representa la energía eólica total anual y, por lo tanto, se utiliza para describir la cantidad máxima potencial de transporte de arena por vientos con una velocidad superior a la velocidad umbral. Yang, y col. (2019), demostraron que, al aumentar la velocidad del viento, el DP aumentó especialmente cuando la velocidad promedio del viento fue mayor a 2.5 m s^{-1} (9 km h^{-1}) y cuando la velocidad máxima del viento fue mayor de 12 m/s , el DP aumentó rápidamente. Tal como se muestra en la Figura 8.24., la velocidad del viento en Abra Pampa puede superar los 10 km h^{-1} y alcanzar los 73 km h^{-1} (aprox. 20 m s^{-1}) a 2 m de altura, y estos eventos están asociados a la mayor frecuencia de tormentas de polvo como se



Ya lo presentaste en la figura 2.4 y 2,6 por que vuelves a repetir??? referencia el capitulo anteriore.

muestra en la Figura 8.24.

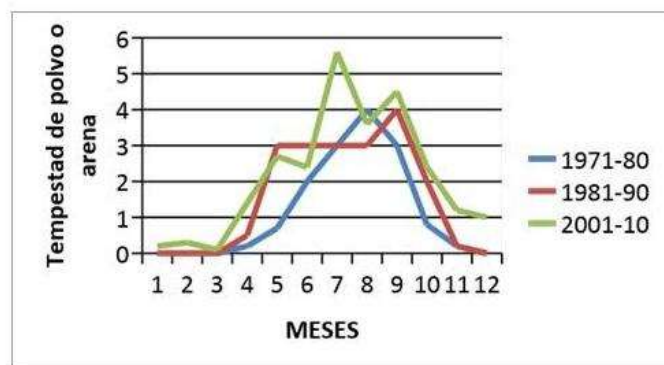


Figura 8.24. Promedio de las 5 máximas velocidades del viento diarias por mes y año en Abra Pampa y tempestades de polvo en La Quiaca. Fuente: EEINTA AP SMN Elaboración propia.

El promedio ponderado por día y considerando periodos iguales de 365 días, a partir de los datos de la captura de sedimentos en los colectores W&C. Tabla 8.6., la mayor pérdida ocurre en El Niño 58.87 kg ha^{-1} .; la fase neutra en promedio de la simulación de tres periodos de 365 días alcanza $415.46 \text{ kg ha}^{-1}$ de sedimentación y en La Niña 55.69 kg ha^{-1} ., de erosión. Si bien es un periodo corto de análisis en un lugar puntual marcaría una tendencia de mayores pérdidas en los eventos El Niño respecto de las otras fases.

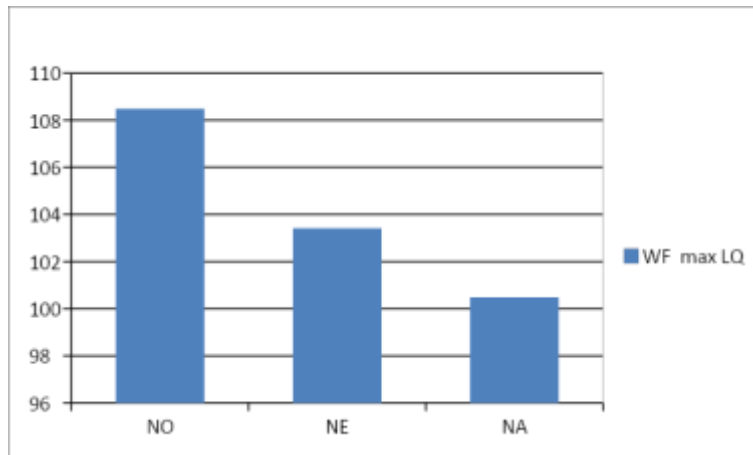


Figura 8.25. WF máxima en LQ (Kg m⁻¹). Fuente: SMN y Elaboración propia.

La Figura 8.25., muestra como varía la WF máxima en La Quiaca siendo más fuerte en EN. Nuestros resultados se encuentran en armonía con los del centro de Irán donde Ebrahimi Khusfi, y col. (2019) demostraron que aproximadamente el 50% de las variaciones del índice de tormentas de polvo se explicaron por los cambios en la lluvia y la velocidad del viento. En este capítulo en la Puna de Jujuy se observó que las fases de El ENOS se vinculan con los vientos y las precipitaciones. La frecuencia de ocurrencia de tormentas de polvo podría estar asociada a El Niño. La mayor pérdida de suelo coincide con El Niño cuyo WF fue mayor.

Las regiones áridas y semiáridas son ampliamente reconocidas como fuentes de aerosoles derivados de su superficie (polvo) que son transportados por la atmósfera. El impacto del polvo atmosférico, en la superficie y el equilibrio de la energía atmosférica es complejo y está relacionado con su distribución de tamaño, fuerza de la fuente, tasa de deposición, extinción, dispersión, absorción, albedo, factor de asimetría y profundidad óptica del polvo. El calentamiento generalmente ocurre en la capa de polvo y el enfriamiento generalmente ocurre debajo de ellos cerca de la superficie (las tasas de calentamiento atmosférico pueden ser de 2 grados °C por día, mientras que las tasas de enfriamiento de la superficie pueden ser de 10 a 15 grados °C por día). El cambio principal en el balance de energía de la superficie es una disminución sustancial en la radiación solar de onda corta entrante en presencia de una capa de polvo absorbente. Un cambio secundario importante es la estabilización de la atmósfera que ocurre cuando el polvo calienta diferencialmente una capa de la atmósfera a expensas del enfriamiento cercano a la superficie. Williams, y col. (2001).

El calentamiento reciente ha dominado las zonas de tierras secas. Las regiones de tierras secas del oeste de los Estados Unidos, el sur de Sudamérica, el sur de África y Australia muestran un calentamiento pronunciado en el siglo XX. También se ha producido un calentamiento en las partes orientales de Oriente Medio y las secciones occidentales de la región del desierto de Asia. Sin embargo, una región de enfriamiento este siglo se centra en algunos de los desiertos asiáticos. Williams, y col. (2001). Este calentamiento de la atmósfera en las capas de polvo podría ocurrir durante las tormentas de polvo producto de la erosión eólica en la Puna.

8.4. Cartografía Erosión de suelos en la Puna de Jujuy por fase ENOS.

8.4.1 Erosión Hídrica USLE por fase ENOS.

Para elaborar el SIG de EH se usó la misma metodología descrita en 8.3.1., extendiéndola al período 2000/2001-2015/2016. En esos 15 años fue considerado de O-A del periodo monzónico. Durante la estación seca o sin lluvias se asume que no hay erosión hídrica porque entre mayo y septiembre las precipitaciones son siempre casi nulas.

Erosión hídrica estimada por USLE fase La Niña.

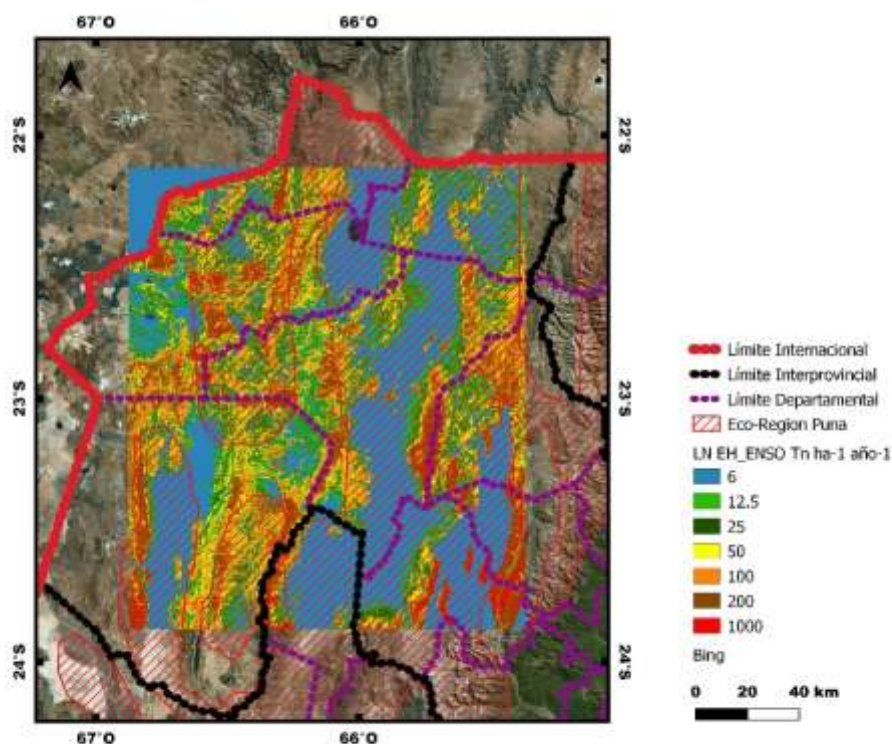


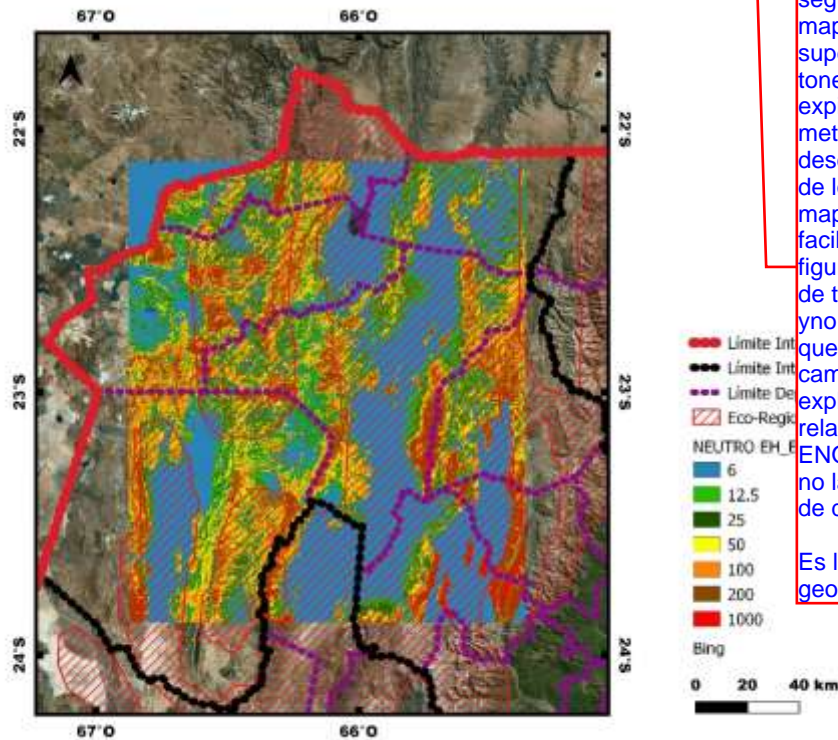
Figura 8.26. Erosión hídrica evento La Niña en la Puna de Jujuy. Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron los mapas de erosión hídrica actual entre los años 2000 y 2016, y como resultado se produjeron mapas promedios de cada fase ENOS. Figuras 8.26., 8.27., y 8.28. Se procesaron aproximadamente 180 (12*15) imágenes NDVI MODIS y se armaron 105 grillas GPCC (7*15) a partir de datos ASCII se sumó la precipitación por periodo de lluvias y se aplicó el algoritmo para convertir la lluvia acumulada en R (erosividad).

Luego se obtuvieron promedios por fase para La Niña, neutra y El Niño y se realizaron comparaciones de amenaza de erosión hídrica entre fases contrastantes. En promedio y en general se demostró que durante los eventos neutros y La Niña se incrementan las precipitaciones y especialmente en las áreas con pendientes con fuerte gradiente se incrementa el proceso de erosión hídrica. La cobertura vegetal no alcanzaría a incrementarse lo suficiente para proteger el suelo. Localidades como en Abra Pampa en enero de 2020 fueron afectadas con inundaciones y ríos secos muy

activos cuando ocurrieron tormentas de más de 50mm en dos días. Comparación de las Figuras 8.26., 8.27 y 8.28.

Erosión hídrica estimada por USLE fase Neutra.



y donde explicas la variación de la Eh según estos tres mapas...en cuanto a superficies toneladas...etc...se explica la cuestión metodológica y se desdibuja la explicación de los resultados de los mapas. Tal vez facilitaría el análisis una figura unida...la escala de trabajo es diferente y no se justificó por que...se realizó este cambio de escala. Se explica lo temporal y al relación con la lluvia ENOS y vegetación pero no la variación espacial de de la erosión... Es lo valioso del análisis geográfico...

Figura 8.26. Erosión hídrica evento Neutro en la Punade Jujuy. Fuente: Elaboración propia.

Los eventos extremos son más destructivos si estos ocurren al final de la estación seca o al comienzo de la época lluviosa. El riesgo de erosión de suelos depende de la susceptibilidad del suelo y la probabilidad de un evento de magnitud suficiente para desplazar suelo por ráfagas de viento o lluvia de alta intensidad. La erodabilidad del suelo puede ser más elevada durante el fin de la estación seca cuando la cobertura vegetal es mínima, pero la probabilidad de la presencia de lluvias intensas es durante la estación lluviosa. La baja retención hídrica de los suelos Aridisoles no favorece el avance de la CV. El elevado riesgo de erosión hídrica, por lo tanto, ocurre al final de la estación seca cuando se incrementa la probabilidad de una lluvia intensa, pero aún no retorna la cobertura del suelo por las plantas. Verstraete, & Schwartz. (1991).

Erosión hídrica estimada por USLE fase El Niño.

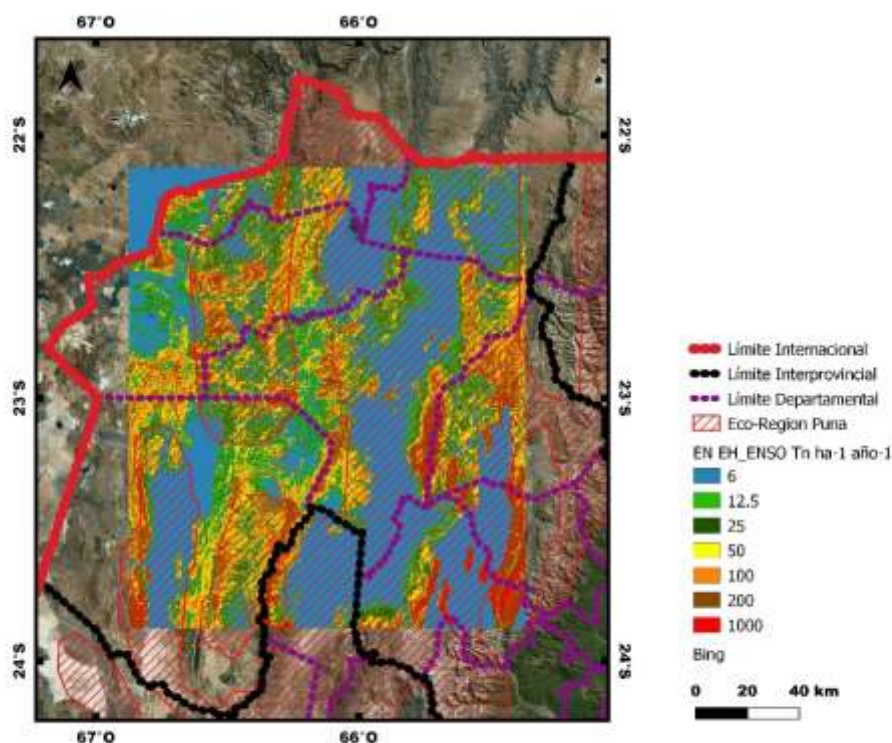


Figura 8.27. Erosión hídrica evento El Niño en la Puna de Jujuy. Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo que mediante la observación, comprensión y modelado de patrones de teleconexión entre la fase ENOS y la erosividad de la lluvia, D'Odorico, y otros (2001) en el suroeste de Estados Unidos, se repite en menor medida para la región de la Puna. Los promedios del SOI en las estaciones previas al invierno (primavera, verano y otoño) para el Suroeste de EEUU a menudo están más fuertemente correlacionados con la erosividad invernal que con la precipitación. Lo que muestra a corto plazo, un mayor potencial de predicción del poder erosivo basado en El ENSO, que la lluvia misma en estos sitios. Dado que la erosividad estacional se debe principalmente a las tormentas extremas, el resultado anterior concuerda con el hallazgo de una fase ENOS más fuertemente correlacionada con los extremos de precipitación (Gershunov y Barnett 1998; Cayan y otros 1999), que con la lluvia anual. Sin embargo, estos autores identifican el efecto de la no linealidad en la adecuación de la correlación como medida de dependencia. D'Odorico, y otros (2001).

Cuanto más fuerte es la anomalía mayor es la respuesta, pero en forma no lineal. En el caso de la Puna esta se manifiesta con mayor precisión para la fase El Niño. Este comportamiento avalaría la menor erosividad encontrada en la Puna durante las fases El Niño comprobado en el Capítulo 7, respecto de las otras fases en las que se incrementan las precipitaciones al final de la estación lluviosa.

En zonas áridas y semiáridas como la Puna donde no se cuenta con datos precisos para implementar modelos complejos, investigaciones similares a las

aplicadas en esta tesis fueron desarrolladas con éxito por Fenta, et al (2020) para estudiar la susceptibilidad los riesgos de la erosión hídrica y eólica en el este de África.

8.4.2 Erosión Eólica RWEQ por fase ENOS.

Existen modelos de estimación de pérdidas de suelo basados en mapas y datos de campo como Eltaif y Gharaibeh (2011), mientras que otros aplican sistemas de información geográfica como AUStralian Land Erodibility Model de Webb et al (2006). Sin embargo, ninguno de ellos los relacionó con las fases de ENOS. En este capítulo se aplica la RWEQ utilizando herramientas de SIG y se analiza como se vincula con las fases del ENOS.

Los mapas de erosión eólica (EE) no incluyen las unidades cartográficas formadas por lagunas, afloramientos de rocas o cordones montañosos donde este proceso no ocurre, como se puede observar en la imagen satelital usada como capa de base dentro de los límites de Jujuy.

A partir del mapa de suelos se crearon campos dónde se adiciono el promedio de WF El Niño, neutro y La Niña, siguiendo el procedimiento desarrollado en el punto 8.3.2. Como ya se explicó se calculó el factor suelo I, mientras que la rugosidad no es orientada y se asume la peor circunstancia ya que la Puna es una altiplanicie y cuando desaparece la CV se comporta como planicie, sin protección a sotavento L ya que, si bien detrás de los pastos y arbustos se acumula material, de forma no permanente, estos son removidos y esparcidos a medida que la CV disminuye y la rotación de los fuertes vientos accionan sobre la arena acumulada. El factor porcentaje de suelo cubierto es la suma de CV y piedras. La CV para cada polígono se calculó un campo para promedios El Niño, neutro y La Niña. Finalmente se obtuvieron mapas de amenaza de erosión eólica, uno para cada fase contrastante. En el Capítulo 9 serán mostrados los territorios más amenazados y los incrementos de EE durante El Niño como afecta a distintas localidades. Estos resultados muestran las variaciones espaciales temporales Figuras 8.29., 8.30 y 8.31. En erosión eólica es importante identificar las poblaciones cercanas a los focos especialmente a sotavento de los vientos más fuertes y frecuentes. Las partículas PM 10 son peligrosas para la salud humana y animal afectando las vías aéreas. Se demostró que en promedio durante los eventos El Niño estos focos se tornan más peligrosos.

En los suelos arenosos pedregosos, a mayor erosión eólica más superficie queda cubierto de piedras y disminuye la tasa de erosión eólica al convertirse en pavimento de desierto al no quedar suficiente material erodable disponible. Sin embargo, si nuevos sedimentos de partículas finas y arenas provenientes de otras fuentes erosionadas son retenidos por piedras y rocas, aumenta la cantidad de sedimentos que luego es repoblado por vegetación natural. Este es un sistema abierto y dinámico.

En cambio, los médanos geológicos son masas de arena muy extensas y abundantes y los convierten en una fuente inagotable de sedimentos para iniciar y mantener el proceso de erosión eólica. Por otra parte, muchos ríos secos depositan material provisto y transportados por erosión hídrica, luego en períodos secos las arenas son retransportadas por erosión eólica y estas finalmente trepan y se depositan

en las pendientes de las laderas de las montañas. A veces logran atravesarlas como puede observarse en el emblemático cerro Huancar donde se practica sandboard.

Es posible identificar áreas sensibles a la erosión eólica Baumgertel y col. (2019), y si bien en esta región diversos autores Navone, (1981); Navone, (1998); Ezcurra, (2000); Navone y Maggi, (2011), muestran los cambios espaciales, solamente esta tesis demuestra la existencia de cambios temporales vinculados al ENOS, sumados a los cambios espaciales. Figuras 8.29., 8.30 y 8.31. Las pérdidas de suelos por EE son más importantes durante la fase EN.

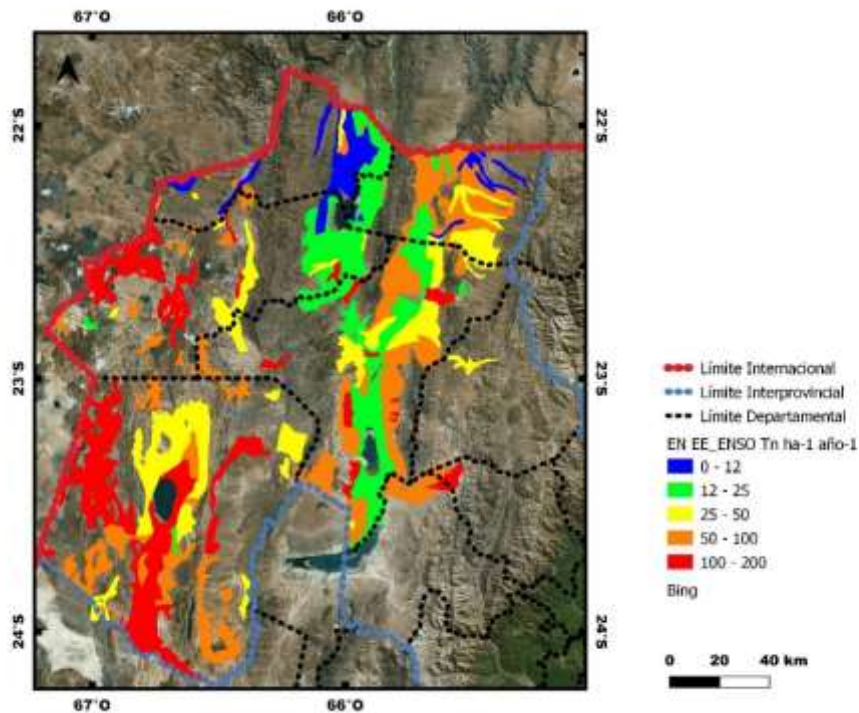


Figura 8.29. Erosión eólica estimada por RWEQ fase El Niño en la Puna de Jujuy. Fuente: Elaboración propia.

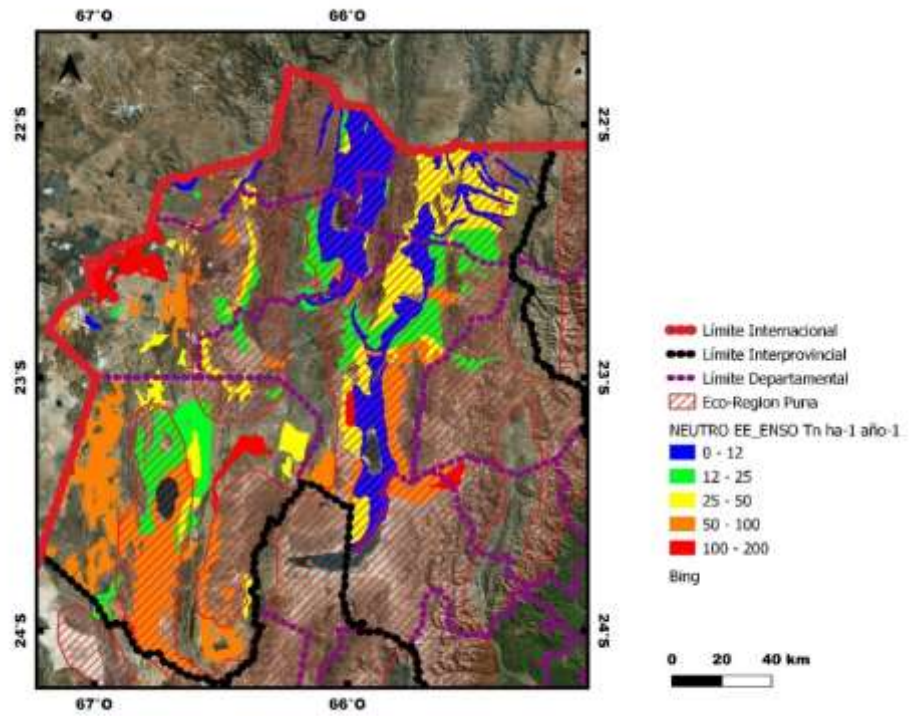


Figura 8.30. Erosión eólica estimada por RWEQ fase Neutra en la Puna de Jujuy. Fuente: Elaboración propia.

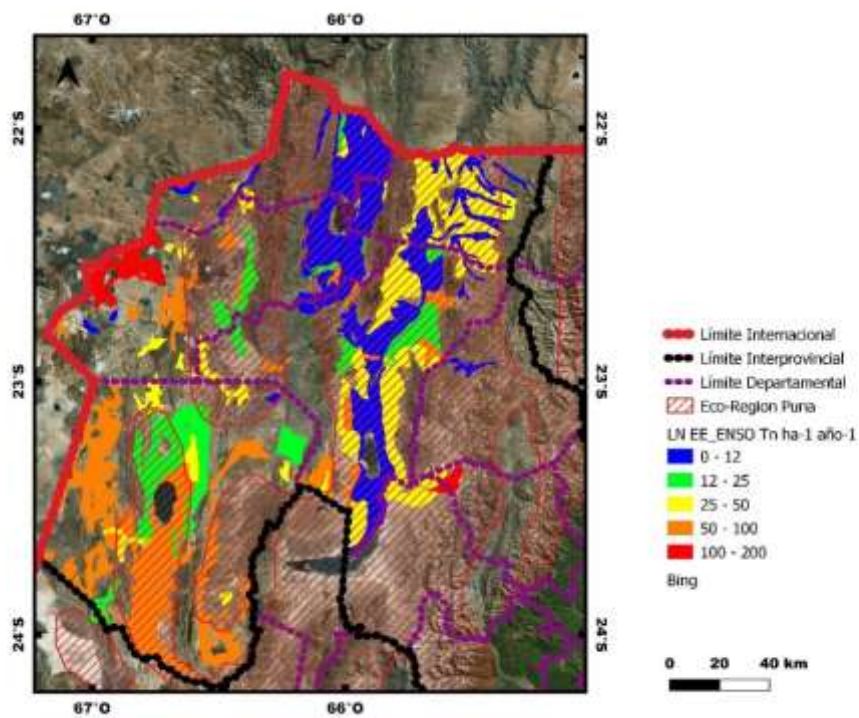


Figura 8.31. Erosión eólica estimada por RWEQ fase La Niña evento en la Puna de Jujuy. Fuente: Elaboración propia.

El modelo AUSLEM (AUStralian Land Erodibility Model) parece ser capaz de representar la influencia de la variabilidad climática inducida por ENOS y los cambios estacionales en los patrones de circulación a escala sinóptica en la erosibilidad del paisaje. **Webb, y col. (2006).**

McTainsh y col. (1998) describieron los controles climáticos en la frecuencia de tormentas de polvo en Australia, y mientras Eckström y col. (2004) examinaron las tendencias temporales en la actividad de tormentas de polvo a través de los efectos de los cambios en los patrones de campo de presión sinóptica en el transporte de polvo, previamente no ha habido medidas cuantitativas de cómo la susceptibilidad del paisaje a la erosión eólica varía bajo El Niño, La Niña, el monzón de verano y los forzamientos climáticos de latitudes medias, Webb, y col. (2006). En Argentina, así como en el sudoeste bonaerense durante el evento La Niña 2008_2009 se observó su influencia con fuertes tormentas de polvo, es probable que durante los eventos El Niño ocurra un comportamiento similar en la Puna de Jujuy.

La precipitación australiana está algo controlada por el ciclo de tres a siete años de ENSO (McBride y Nicholls, 1983, Whetton, 1997, Manins, 2001). La lluvia afecta la susceptibilidad del paisaje a la erosión del viento al controlar el suministro de sedimentos, la cubierta vegetal, la humedad del suelo y la formación de costras en la superficie (Eldridge y Leys, 2003). Algo similar ocurre en la Puna con ciclos de sequía que incluye varios años ver capítulo 2. Los efectos de ENOS en la erosión de la tierra en Australia no estaban bien documentados, sabiendo que 1984 fue un período húmedo con SOI positivo y 1994 fue un año de sequía dominado por un fuerte evento de El Niño con SOI negativo. La producción de AUSLEM durante el evento El Niño de 1994 indicó que la tierra en el este de Australia puede volverse susceptible a la erosión eólica. Un comportamiento similar se identifica en la Puna, si analizamos los valores obtenidos de WF y su tendencia capítulo 7. Al contrario, durante el evento La Niña de 1984, Australia occidental parecía ser más susceptible a la erosión eólica que al este. Este comportamiento durante La Niña coincide con la sequía de 1983 en Buenos Aires. **Scarpati y Capriolo, (2013).** Del mismo modo como la aplicación de AUSLEM durante un período estadísticamente significativo (30 años) puede demostrar mejor cualquier efecto de ENOS sobre la precipitación y la erosión bajo los extremos de sequía y alta precipitación anual, los análisis locales como los presentados en esta tesis podrían mejorar la predicción de la erosión en la puna.

Se necesita más investigación y monitoreo para comprender los riesgos de emisión de polvo en un contexto de cambio de uso de la tierra y un clima cambiante. Los trabajos que integren la investigación en el campo, el modelado, la teledetección y el monitoreo y pueden proporcionar indicadores de alerta temprana que puedan prevenir la erosión acelerada del viento o su posterior a la restauración. **Duniway, y otros (2019).**

Para avanzar en la comprensión de los complejos procesos que impulsan las emisiones de polvo y mitigar los impactos de la erosión eólica, en estas regiones frágiles y territorios vulnerables a través de estrategias de gestión que minimicen el riesgo, se necesita enfoques y perspectivas multidisciplinarios y multijurisdiccionales de investigación, mitigación y restauración. **Duniway, y otros (2019).**

Finalmente, prevención mediante la reducción las áreas de usos del suelo que producen polvo y la protección de áreas intactas, particularmente en entornos de ecosistemas frágiles, sigue siendo la más segura estrategia para conservar los recursos del suelo, la calidad del aire, y limitar los efectos nocivos de la erosión eólica

y el polvo atmosférico en los ecosistemas, los humanos y la economía. Duniway, y otros (2019).

El impacto de tormentas de arena y polvo, conocido como Dust sand storm (DSS), en la salud humana es motivo de gran preocupación en las áreas de origen del DSS, así como a lo largo de las rutas de transporte del DSS a favor del viento. Dada la alta densidad de población de los centros metropolitanos, la preocupación por la salud es particularmente alta. En los días de DSS, las clínicas a menudo se enfrentan a un gran número de pacientes que padecen enfermedades respiratorias. Ekhtesasi, y Sepehr, (2009). Se informa que, en la localidad de Yazd, el número de muertes en los "días de arena amarilla" es mayor que el promedio diario en días de polvo no amarillos. En particular, las muertes por problemas cardiovasculares y respiratorios aumentan dramáticamente. Ekhtesasi y Sepehr, (2009). Dado que los costos del control de la erosión eólica y la fijación de dunas de arena son muy altos, los gobiernos de países no desarrollados, no puede proporcionar el costo total requerido. Las comunidades mundiales como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, el PNUMA, el PNUD, el FMAM esperan aumentar las asignaciones y los donantes a los países, que se han visto afectados por las sequías y los cambios climáticos mundiales. Con respecto a la prevención y el control del DSS, el momento, la ubicación y el movimiento del DSS son muy inciertos, y esto significa que los daños potenciales también tienen estas características. Ekhtesasi, y Sepehr, (2009).

La disminución de las superficies de las lagunas, durante la mayoría de los años El Niño, favorece la salinización de sus bordes provocando la disminución de la cobertura vegetal y disparan e incrementan la erosión eólica como se muestra para la Puna en el Capítulo 6. Esta dinámica ha sido documentada por Dharumarajan, y otros (2018) quienes comparando mapas antiguos con información satelital lograron estudiar los cambios en erosión, degradación vegetal y salinización.

Allí se produce la acción combinada de la salinización y la erosión eólica en las playas de las lagunas. En años extremos están se secan totalmente y a fines de invierno, la estación seca, y antes del inicio del Monzón el porcentaje de suelo desnudo se encuentra en su valor máximo predisponiendo al proceso de erosión eólica en una época del año generalmente con vientos fuertes. Un comportamiento similar se observó, estudiando con imágenes MODIS las grandes planicies del desierto de Chihuahua en U.S.A, donde la mayor cantidad de puntos o focos donde se inician las tormentas de polvo se ubican en las playas de las lagunas y las sequías prolongadas asociadas al uso de la tierra son altamente responsable de la activación de estos focos. Kandakji y otros (2020).

Considerando que la mayor extensión de tierras posee un uso ganadero y los pobladores dependen económicamente de la producción forrajera para la cría de llamas, ovinos o cabras para su subsistencia la desertificación se vuelve crítica. Se requiere un empoderamiento de quienes habitan el territorio quienes están empobrecidos y su salud es afectada por agentes externos como el incremento de partículas PM10. Un estudio reciente a partir de una regresión entre la actividad del polvo y la proporción del área de manejo con cobertura del suelo <50% en verano, identificaron un umbral que si se supera la proporción del 15% de extensión de esta última variable (señal de baja cobertura) se incrementa el total de horas con polvo PM 10. Webb, y otros (2020). Esta circunstancia, como hemos visto en esta tesis en el capítulo 6, es muy frecuente en la mayoría de los tipos fisonómicos que ocupan la

mayor parte de la extensión del territorio de la Puna jujeña. Escobar, y otros (2013) demuestran en la Patagonia como el incremento de tiempo de la clausura de pastoreo de las estepas incrementa el porcentaje de herbáceas respecto de las especies arbustivas y también disminuye la superficie de suelo desnudo. El aumento de cobertura vegetal no solo mejora los sitios ecológicos en su productividad ganadera sino también disminuyen la erosión eólica y mejoran la calidad de vida de las poblaciones circundantes. De manera similar Wu, y otros (2019) probaron que el incremento de la cobertura vegetal disminuye la masa de suelo provocada por erosión eólica y esta debería ser la práctica recomendada para las tierras más frágiles.

8.4.3 Erosión hídrica y eólica combinada. Alternancia de ciclos secos y húmedos.

Erosión hídrica o eólica de suelo puede tener lugar en regiones áridas o semiáridas varias veces en el año. El impacto de la erosión eólica domina en regiones secas, mientras que la erosión hídrica afectara mayormente regiones húmedas Marshall 1973p.58. Citado por Verstraete, & van Ypersele, (1986).

La teledetección fue aplicada para explorar los cambios en el uso de la tierra, la dinámica de la erosión del suelo y sus relaciones en la erosión entrecruzada de agua-viento en áreas en China durante 1995–2010 por Wang y otros (2019). En este capítulo, y de manera similar, se ha aplicado sensores remotos y GIS para realizar un análisis y monitoreo, de los grados y las variaciones espacio-temporales, del proceso de erosión de suelos en la Puna jujeña y sus oscilaciones causadas por el fenómeno ENOS.

Cuales???

Informaciones secundarias originadas en las tesis de grado, posgrado y muestreos hechos con los protocolos del ONDTYD y otros estudios previos realizados por INTA, UBA, CONICET y Univ. de Salta, confirman la distribución espacial de los grados de erosión eólica e hídrica en estos territorios. En el caso de AP además se obtuvieron datos de colectores Wilson. & Cook.

En muchas localidades de la Puna Jujeña se presentaron ambos procesos combinados, erosión eólica e hídrica, siendo eventos de ocurrencia opuesta, y según la fase del ENOS se expresó uno u otro proceso en el mismo lugar generando una sinergia de la degradación de las tierras. Así, los médanos geológicos se formaron en dirección oeste este, sin embargo, actualmente los vientos más frecuentes y fuertes provienen de las direcciones suroeste noreste. En consecuencia, los pueblos ubicados al NE o SO de los focos de erosión eólica serán los más afectados. Por otra parte, hacia el S y el O disminuyen las precipitaciones, por lo tanto, cuando aparecen eventos de lluvias extremas las localidades ubicadas al NE estarían más afectadas por erosión hídrica especialmente donde las pendientes poseen elevado gradiente y longitud. Por el contrario, al sur y el oeste durante eventos El Niño los territorios serían amenazados por erosión eólica especialmente las planicies con baja cobertura vegetal arrastrando el material suelto hacia las laderas de las montañas. En esta región los procesos erosivos de los suelos culminan en verdaderos pavimentos de desierto. Sin embargo, cuando se producen crecidas torrenciales producto de precipitaciones extremas, y estas varían según la ocurrencia de los distintos eventos de El ENOS, arrastran y transportan mucho sedimento que luego en las épocas secas son retransportados por el viento. Estos eventos afectan todo el territorio en diferente

magnitud. La alterna entre fases de El ENOS (variación temporal) y los cambios espaciales pueden verse en los mapas de EH y EE, con los sitios mas amanezados a la DT. Ver Figuras 32 y 33, en concordancia con las tres tansectas de la Figura 8.15 y 8.16; y la Figura 7.4 del capítulo 7.

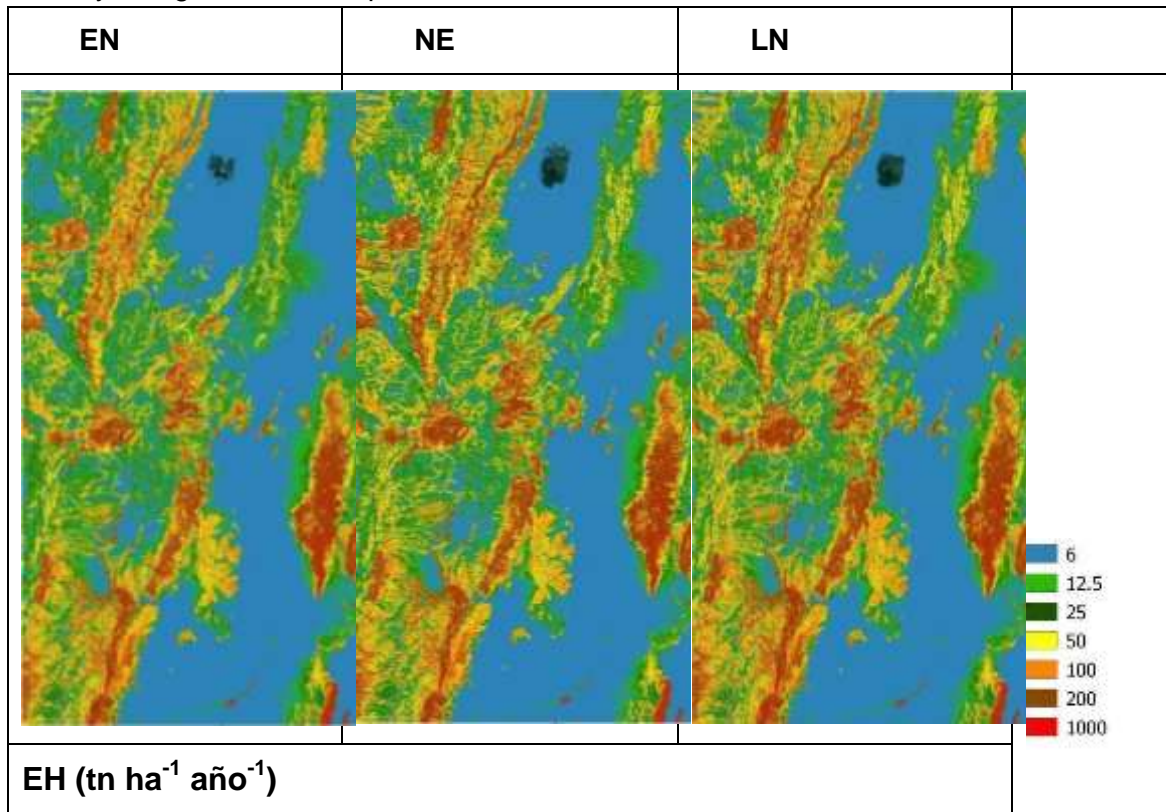
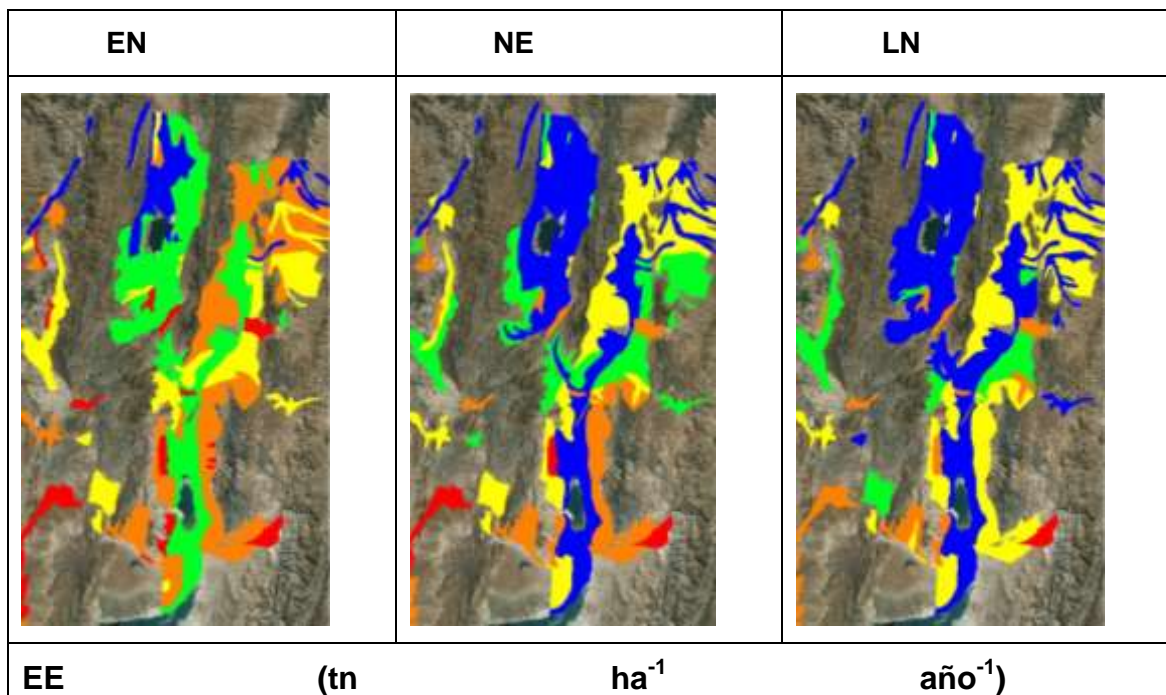


Figura 8.32. Estimación de la EH, promedio 2000-2016, cambios entre las diversas fases de la Puna de Jujuy. Fuente: Elaboración propia.



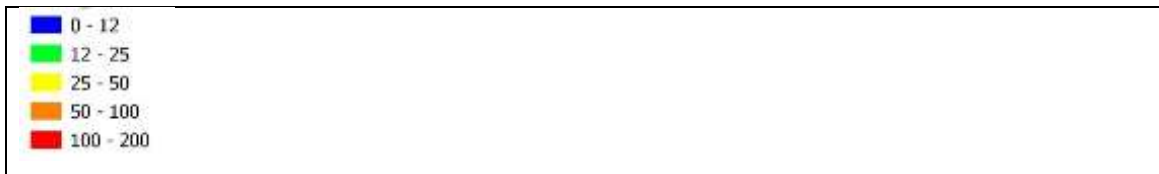


Figura 8.33. Estimación de la EE, promedio 2000-2016, cambios entre las diversas fases de la Puna de Jujuy. Fuente: Elaboración propia.

En la medida que se alternan las fases, la degradación de las tierras se incrementará debido a las oscilaciones climáticas y el incremento de los eventos extremos pronosticados por el cambio climático. En consecuencia, aumentarán las superficies de tierras yermas, disminuyendo la PPNA y los recursos forrajeros. Se iniciará una retroalimentación más suelo desnudo que incrementan la erosión de los suelos. Esta es la causa principal de degradación de tierras y junto al cambio climático incrementarán la pérdida de servicios ecosistémicos afectando los medios de vida de la población local e incrementará la desertificación.

A medida que el clima pasa de fases secas a húmedas, la tierra también puede disminuir más lentamente a lo largo del tiempo. La cobertura del suelo tarda más en recuperarse cuando parte de los niveles muy bajos. **Aubault, y col. (2015)**. La reducción del pastoreo de ganado puede reducir la erosión de la tierra (aumento de la cobertura del suelo) evitando la utilización continua de forraje. Este efecto de pastoreo podría amplificarse aún más por los cambios en la erosión del suelo. Sin embargo, la duración de los posibles períodos de erosión acelerada dependerá de la tasa de almacenamiento utilizada. Los tomadores de decisiones y administradores de la tierra pueden limitar el impacto de la intensidad del pastoreo en la erosión de la tierra y reducir el riesgo acelerado de erosión mediante el empleo de estrategias de almacenamiento que respondan a la disponibilidad de forraje y las tasas de almacenamiento que no reduzcan significativamente los niveles de cobertura vegetal durante los períodos de sequía. **Aubault, y col. (2015)**. Esto es consistente con la literatura de ecología de pastizales sobre el manejo de mejores prácticas para controlar la erosión del suelo (Morton y Barton, 2002).

Esta afirmación la puedes corroborar..tal vez la podria a futuro como una nueva hipotesis de trabajo...

El efecto abrumador de la desertificación en la superficie y el equilibrio energético atmosférico proviene de las interrupciones del ciclo hidrológico. En muchos casos, la eliminación de la vegetación conduce a un aumento de la escorrentía y las tasas potenciales de evapotranspiración debido a mayores velocidades del viento y menores niveles de humedad atmosférica y temperaturas más elevadas cerca de la superficie. **Williams, y otros (2001)**. Esta dinámica suele presentarse en la diagonal árida argentina. Los resultados de esta tesis, del mismo modo que **Fenta, y col. (2020)**, destacaron áreas prioritarias con respecto a los riesgos de erosión hídrica y eólica a escala regional. La identificación de áreas críticas propensas a la erosión del suelo es un primer paso para una investigación mayor que facilite la planificación de la conservación. Por lo tanto, se necesitarán más estudios de campo en las áreas de alta prioridad, definidas en esta tesis con teledetección y SIG para los eventos climáticos extremos. Ello permite determinar el nivel real de riesgo de erosión del suelo e identificar dónde los esfuerzos de conservación pueden ser potencialmente más útiles.

para reducir los riesgos de erosión del suelo y sus efectos adversos a la población y sus bienes.

8.5. Conclusiones del capítulo 8.

La hipótesis acepta el orden de pérdida de suelos por erosión hídrica: para los años La Niña mayor, seguido de la fase Neutra y por último la fase El Niño (NA>NE>NO).

La erosión hídrica estimada es mayor en los años Niña, seguido de la fase Neutra y luego Niño, estas tendencias se confirmaron en las transectas 1 que atraviesan la Laguna de Pozuelos, 2 el valle del Río Miraflores a la altura de la localidad de Abra Pampa y más al sur la 3 que cruza sobre la Laguna de Guayatayoc.

La comunidad de esporales sería una buena indicadora del incremento de la erosión hídrica provocada por la presencia de la fase La Niña.

Para la erosión eólica la Tasa de pérdida de suelo SLR evento es mayor en la fase durante los eventos El Niño respecto de las otras dos fases.

Se verifica con colectores Wilson and Cook. la tendencia de mayores pérdidas por erosión eólica se produjo en los eventos El Niño respecto de las otras fases

Aplicando USLE, se identificó los lugares donde se logró demostrar que durante los eventos neutros y La Niña se incrementa la pérdida por erosión hídrica, mediante cartografía y SIG en la Puna de Jujuy.

Aplicando RWEQ, se identificó mediante cartografía y SIG los lugares donde se logró demostrar que durante los eventos El Niño se incrementa la pérdida por erosión eólica en la Puna de Jujuy.

En muchas localidades de la Puna Jujeña se presentaron ambos procesos combinados, erosión eólica e hídrica, siendo eventos de ocurrencia opuesta, y según la fase del ENOS se expresó uno u otro proceso en el mismo lugar generando una sinergia de la degradación de las tierras.

Capítulo 9

Capítulo 9. Integración de factores, discusión de resultados, logros de la tesis y posibles aplicaciones.

9.1 Introducción

En el desarrollo de los distintos capítulos de la tesis se fueron probando las hipótesis planteadas y se alcanzaron los objetivos propuestos. En este capítulo a partir de las respuestas logradas sobre la dinámica del ENOS y su influencia espacial y temporal de la erosión hídrica y eólica en el territorio de la Puna de Jujuy, se muestra como se relacionan con los indicadores socioeconómicos de los distintos departamentos. En la elaboración de toda la cartografía se utilizó los límites internacionales, interprovinciales y departamentales publicados por el IGN, ya que ellos son los oficiales y repeta todos los hitos geográficos. Es por ello que se observan diferencias entre la representación realizada por el INDEC y el IGN. Los datos e indicadores de cada capa son utilizados por departamento, cubre todo el país y proviene del Censo de Población y Vivienda del año 2010 del geoserver (WFS) del INDEC. La información bilNofísica fue generada, elaborada, analizada en esta tesis utilizando algoritmos, imágenes satelitales y GIS y su representación cartográfica se realizó en el capítulo anterior. Por otra parte, la representación de la ecoregión de la Puna de Jujuy, proviene del servidor del MAyDS, y su ubicación está muy determinada por la altura. Es así que su extensión varía dentro y entre los departamentos. Sin embargo, las amenazas de erosión y riesgos varían espacial y temporal conforme a las oscilaciones climáticas y particularmente los eventos extremos de las fases del ENOS afectan esta ecoregión y a las regiones lindantes, como por ejemplo por el movimiento de partículas por erosión eólica o los aludes de barro.

El monitoreo, permite predecir escenarios futuros. **s. p**revenir, mitigar y adaptar e informar alertas tempranas a los pobladores y tomadores de decisión respecto a los riesgos causado por estos cambios. Identificar también que servicios **eco sist**émicos, cuando serán afectados, y en qué lugar. Al final de este capítulo se nombran todos los logros y alcances presentados en la tesis.

9.2. Características socioeconómicas y ambientales de las tierras secas especialmente en la Puna

En relación al poblamiento humano de las tierras secas estas son culturalmente diversas y representan el 24% de los idiomas del mundo (Safriel et al. 2005). Tradicionalmente, muchos grupos sociales se movían estacionalmente en respuesta a sequías prolongadas. La necesidad de hacer frente a las duras condiciones climáticas y los repetidos episodios de escasez han dado lugar a fuertes tradiciones culturales, como la efectividad invasiva de los mongoles, la base de reglas para varias religiones importantes y el conocimiento ecológico tradicional respaldado por poderosas sanciones como las aplicadas en las culturas aborígenes de Australia. En ecología, la atención a las condiciones extremas representadas por las tierras secas ha ayudado a crear cambios de paradigma de mayor relevancia, como el desarrollo de conceptos de desequilibrio y modelos de estado y transición (Walker 1993). Estos conceptos son especialmente pertinentes a medida que los humanos se deben preparar para el cambio climático.

Las tierras secas cubren el 40% de la superficie terrestre y se caracterizan por una gran diversidad ecológica y cultural. Aunque, por definición, de baja productividad, han sido una fuente de innovación biológica, social y científica (Walker et al. 2009). Un tercio de los puntos críticos de biodiversidad mundial se encuentran en las tierras secas, con una variabilidad de mamíferos grandes en las montañas, heterogeneidad y endemismo de plantas vasculares como arbustos, y una gran pluralidad de anfibios, reptiles, aves y mamíferos en los desiertos. Las plantas suculentas, la vía fotosintética de metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) y la tolerancia de los camélidos a estas regiones son algunos ejemplos de adaptaciones biológicas.

En el primer capítulo de esta tesis se ha analizado y discutido el marco teórico y como se vinculan las características socioeconómicas y ambientales en las tierras secas. Aproximadamente el 50% del territorio continental argentino está afectado por clima árido, con menos de 400 mm de precipitación anual, donde no existen posibilidades de practicar agricultura de secano. Sus tierras se destinan preferentemente a la explotación de sus pastizales naturales con ganado doméstico y la región del NOA no escapa a esta realidad. Según el Censo Nacional Agropecuario de 2002, la población de llamas asciende a 161,402 animales, distribuidos de la siguiente manera: 109.413 en Jujuy, 25,968 en Catamarca, 18,751 en Salta y 7,270 distribuidas en el resto de las provincias. Jujuy concentra las dos terceras partes de las existencias distribuidas en 2,145 explotaciones agropecuarias destinadas a producir carne y fibra de llama, lo que representa la mayor actividad de cría y producción de camélidos domésticos del país.

La palabra Puna en quechua significa “tierra alta” o “pampa elevada”. Es una de las mesetas de gran extensión que se encuentra a mayor altitud en el mundo después del Tibet. Los pobladores de la Puna basan su producción, en gran medida, en la ganadería extensiva que es el principal medio de subsistencia de los pobladores de la región, donde el porcentaje de cobertura vegetal (CV) es uno de los indicadores que explica mejor el proceso de desertificación. La disminución de la CV está asociada a la alta carga animal; el 61,8 % de las explotaciones tienen una carga superior a la receptividad de la zona. La producción está basada en especies exóticas (vacas, ovejas y cabras) aunque en menor proporción se practica la cría de camélidos (Maccagno, 2004). El 87% de las existencias totales de las distintas especies ganaderas se encuentran en manos de pequeños productores familiares. En los

yo pondría este párrafo antes que el anterior...es mas englobador...sino estas hablando de la argentina y de pronto aparecen los mongoles y los aborígenes australianos...Porque aparte el subtítulo habla de la Puna.. De hecho sacaría estos dos párrafos..

punto o coma para separar miles????

departamentos que conforman la Puna y Quebrada de Humahuaca, se concentra el 93% de los ovinos, el 84% de los caprinos y el 100% de las llamas de la provincia de Jujuy (Echenique y otros 2014). Si solo consideramos la Puna jujeña, y se analizan las existencias por especie y tipo de productor, los valores son similares entre ovinos (88%), caprinos (94%) y llamas (89%) pero son manejados casi exclusivamente por familias de pastores (Obschatko y otros, 2006).

En la Figura 9.1., se observa la importancia en la región de la ganadería ovina y caprina en el noroeste y oeste de Jujuy respectivamente. Existencias ganaderas según SENASA 2015.

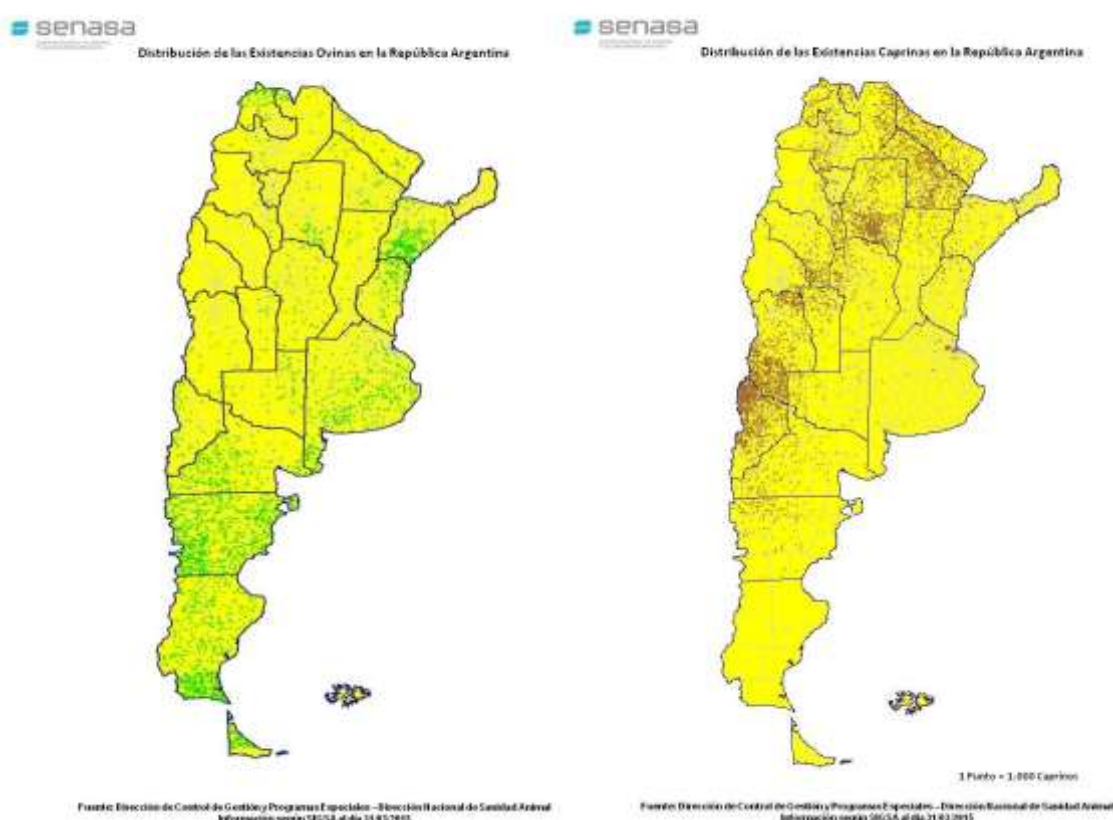


Figura 9.1. Mapas de distribución de existencias de ovinos a la izquierda y caprinos a la derecha. Fuente SENASA, 2015.

http://www.senasa.gov.ar/prensa/DNSA/Control_Gestion_y_Programas_Especiales/Indicadores_ganaderos/2_Indicadores_Ganaderia_Ovina/Ganaderia_Ovina.html
http://www.senasa.gov.ar/prensa/DNSA/Control_Gestion_y_Programas_Especiales/Indicadores_ganaderos/4_Indicadores_Ganaderia_Caprina/Ganaderia_Caprina.html

Los ovinos requieren campos de veranada e internada. La mayor cantidad de cabezas corresponden a los ovinos porque producen vellones más pesados entre 4,5 a 7,7 Kg. por animal esquilado mientras que las llamas solo producen 1,5 y 2,5 Kg., pero estos últimos necesitan menos cuidado, es así que los pastores refieren que cuando la población envejece prefieren producir llamas en los lugares aislados.

En la Tabla 9.1 y Figura 9.1., se muestra las existencias de las distintas especies de ganado domestico de los departamentos con mayor superficie ocupada por la ecoregion de la Puna de Jujuy según Lamas H., (2007).

Esta región contiene los departamentos de Yavi, Santa Catalina, Rinconada, Cochinoca y Susques Fuente: <http://norte.com/regiones-de-jujuy-de-la-puna-a-las-yungas/> y Lamas, (2007).

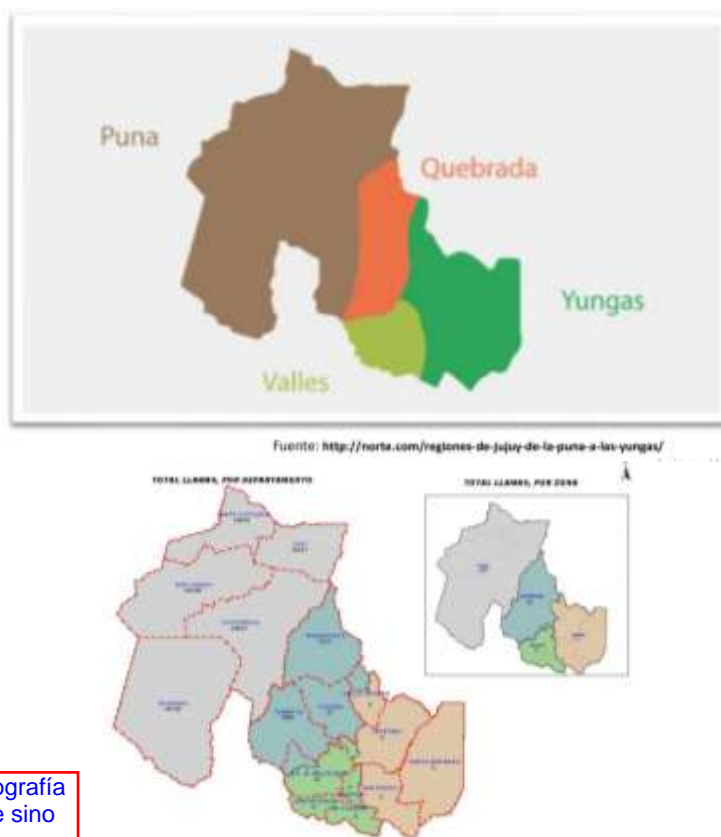


Figura 9.1. Departamentos por regiones de la provincia de Jujuy. <http://norte.com/regiones-de-jujuy-de-la-puna-a-las-yungas/> y Lamas, (2007).

Tabla 9.1. Existencias ganaderas los departamentos más representativos por su extensión de la Puna jujeña Fuente: **Lamas H., (2007), Página 45.** Con modificaciones.

DEPARTAMENTO	LLAMAS	%	CAPRINOS	%	BOVINOS	%	OVINOS	%
COCHINOCA	22,249	21	10,136	12	206	2	59,933	17
RINCONADA	24,927	24	34,714	40	7,949	71	87,385	25
SANTA CATALINA	19,676	19	11,377	13	86	1	77,241	22
SUSQUES	18,729	18	25,424	30	355	3	16,042	5
YAVI	19,281	18	4,182	5	2,567	23	109,363	31
TOTAL	104,862	100	85,833	100	11,163	100	349.964	100

En la Figura 9.2 se comprueba que hacia los departamentos del sur y hacia el oeste de la Puna de Jujuy, Rinconada y Susques, disminuye la contribución de ovinos del total de la producción ganadera y aumentan los caprinos. Las llamas contribuyen entre un 18 y 24% de la producción ganadera de cada departamento, mientras que

Rinconada posee la mayor cantidad de cabezas y proporción de la producción de bovinos comparando estos cinco departamentos.

Los camélidos son los animales que mejor se adaptan en la región. Cada llama como se explicó anteriormente puede entregar por esquila anual entre 1,5 y 2,5 kg., y considerando que son animales de doble propósito (fibra y carne), cuando son faenados a los 20-22 meses, se estima que en su vida productiva entregaron entre 3 y 5 kg de fibra en vellón. A su vez, cada cabeza faenada alcanza un peso de carcasa de entre 35 y 50 kg, con un rinde limpio del 54%. Como producto de la faena se debe contabilizar también el cuero, si bien inicialmente no es un objetivo de producción de esta crianza. Frank, (2005), página 19.

En el esquema de la dinámica y emergencia de conflictos la desertificación y la DT se encuadran dentro del área de conservación. Si se produce a disminución de la producción de pastizales por la DT para la cría de ganado y aumenta la falta de agua por el incremento de la frecuencia de sequías, como fuera planteado en el capítulo inicial y demostrado en los sucesivos capítulos, se provocarán conflictos por el aumento de la presión en el uso de los recursos naturales, amenazando la seguridad alimentaria y favoreciendo la desertificación y la migración de la población. Esta situación impulsará el desequilibrio del sistema incrementando la pérdida de tierras productivas, causada por la disminución de la PPN de las estepas más ricas en especies forrajeras que se encuentran en los bofedales y vegas, con el consecuente abandono de tierras.

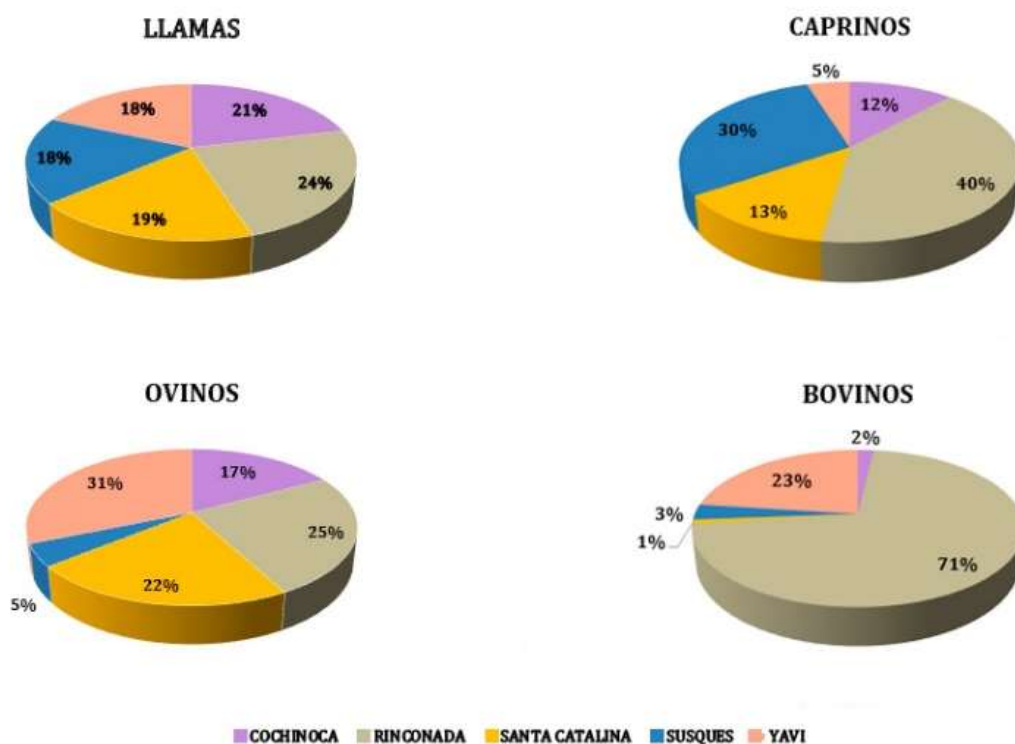


Figura 9.2. Porcentaje de los tipos de ganado en cada uno de los departamentos más representativos de la Puna de Jujuy y su representación regional. Fuente: Lamas Hugo, 2007, Página 45. Elaboración propia.

9.3. Indicadores de la situación socioeconómica de las poblaciones por departamento de la Puna de Jujuy.

Es necesario identificar poblaciones y caseríos y analizar algunas de las posibles causas socioeconómicas, que las hace mas vulnerables e incrementan su exposición, previo a la vincurlación con la DT durante los eventos climáticos mas extremos en los sititos mas frágiles. Los departamentos de Santa Catalina, Yaví, Rinconada, Cochinoca, Humahuaca, Tilcara, Tumbaya y Susques, con sus poblaciones ocupan una gran extensión de los territorios de forman parte de la ecoregión Puna de Jujuy considerando los mapas publicados por el MAyDS: La Quiaca, Abra Pampa, Susques y Rinconada, son las poblaciones más representativas pero algunas localidades de la Quebrada de Humahuaca como Tilcara o Humahuaca son afectadas por la DT en la Puna. Las Figuras 9.3 y 9.4. muestran los departamentos y sus localidades con mayor superficie cubierta por ecorregión de la Puna de Jujuy.¹

La información básica proviene del Censo de Población y Vivienda del año 2010 del geoserver (WFS) del INDEC. Para la representación de todas las capas vectoriales se utilizó una leyenda gradual en colores de arcoíris, los valores más bajos se representan en azul y los más elevados en rojo. aplicando cuantiles de 10 clases (hasta un máximo de 10 categorías que todas tengan el mismo número de elementos). Adentro de cada clase contiene el mismo número de elementos (manteniendo la idea de un diagrama de boxplot).

¹ Las ciudades y pueblos de la Quebrada de Humahuaca no pertenecen a la ecoregión Puna, pero son afectados por la DT que se producen en la la Puna.

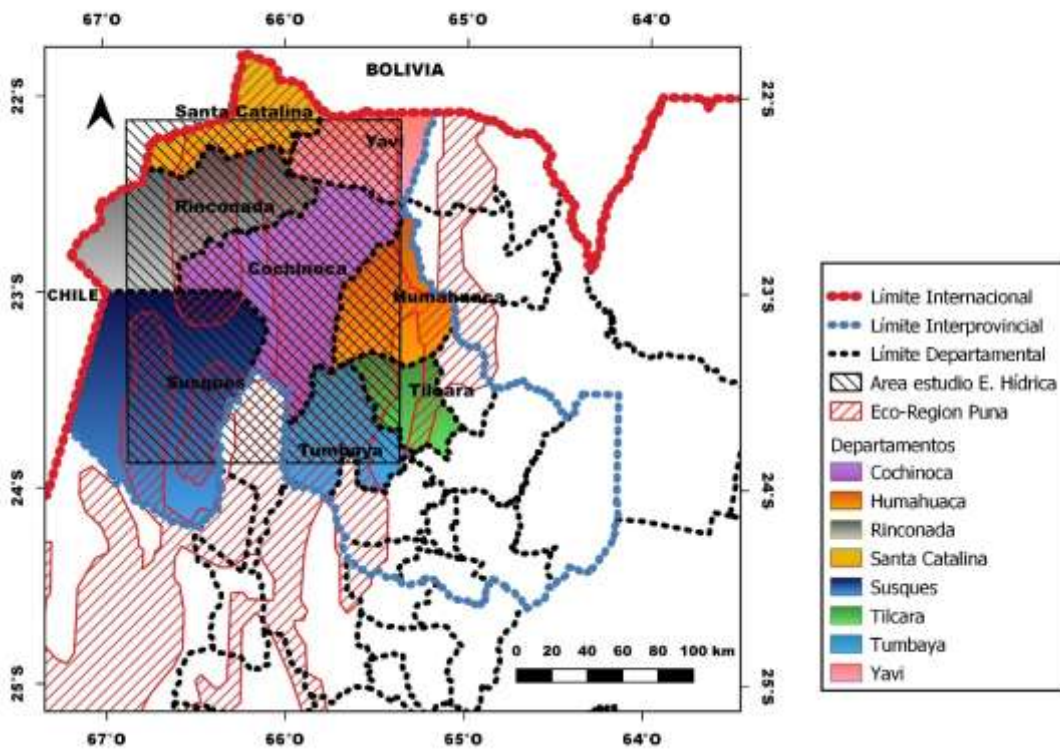


Figura 9.3. Ecoregiones 1999 y Departamentos forman parte de la Puna jujeña. Fuentes Censo 2010 INDEC, IGN y MAYDS. Mapa de Elaboración propia.

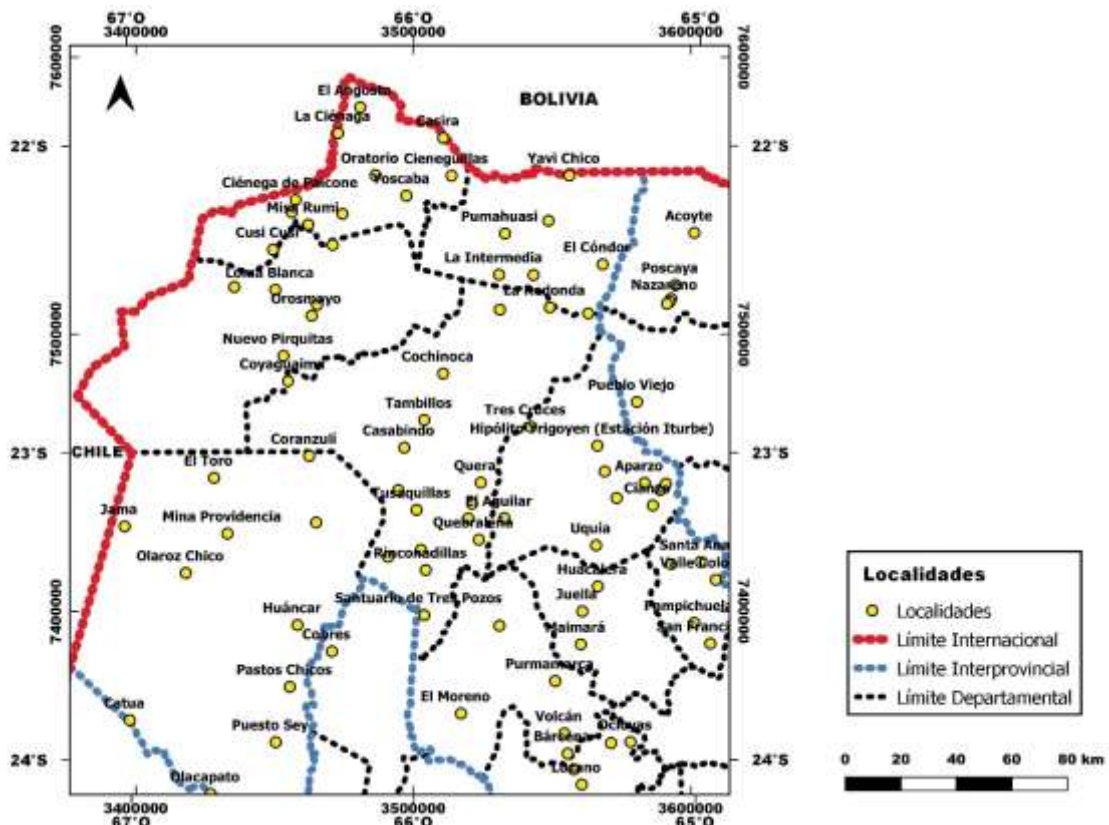


Figura 9.4. Departamentos y localidades de la Puna jujeña. Fuentes Censo 2010 INDEC e IGN. Mapa de Elaboración propia.

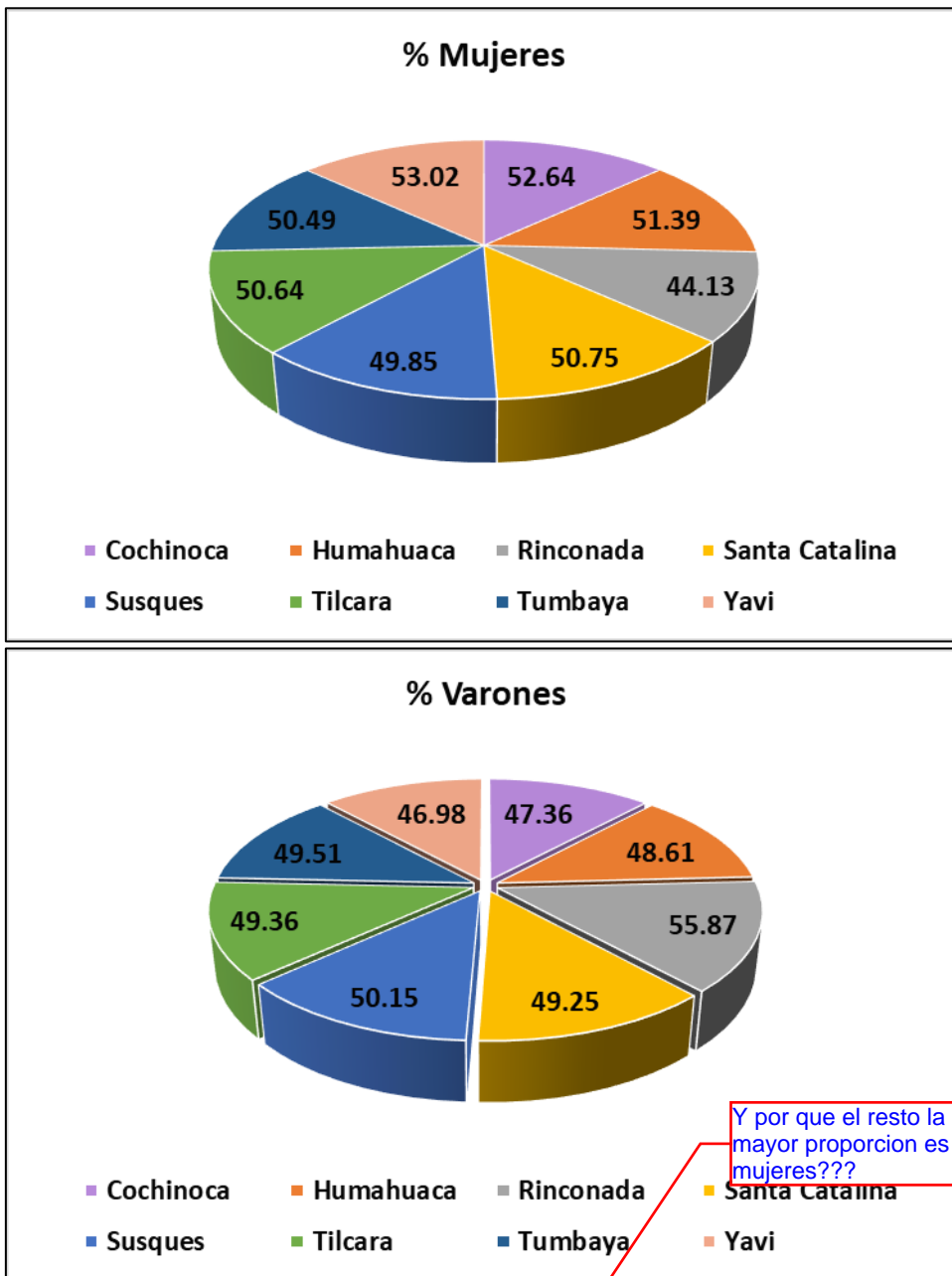


Figura 9.5. Gráficos de porcentaje de mujeres y varones por departamento de la Puna de Jujuy. Fuente Censo 2010 INDEC. Elaboración propia.

Los departamentos de Susques y Rinconada mantienen una proporción mayor de varones. Ellos se ubican en los sectores mas elevados, de clima muy adverso e inaccesibles.²

² Probablemente por la mayor actividad minera.

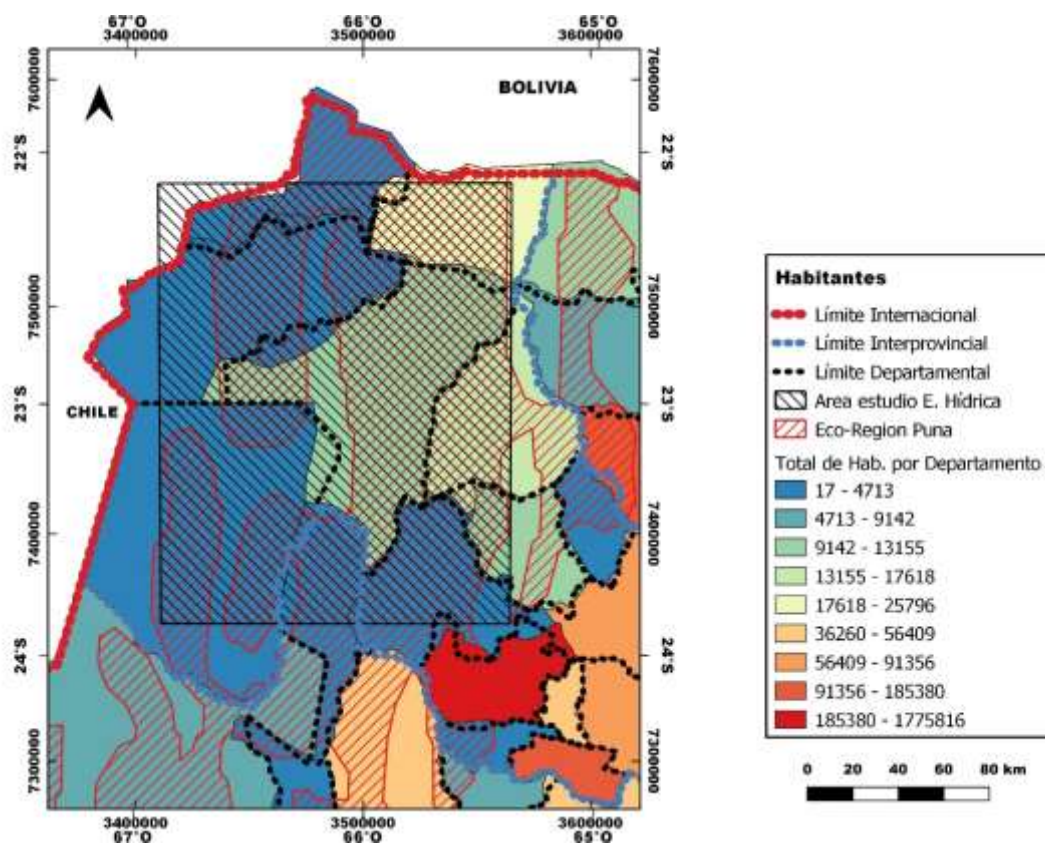


Figura 9.6. Total, de habitantes por departamento en la Puna jujeña. Fuentes Censo 2010 INDEC, IGN y MAYDS. Mapa de Elaboración propia.

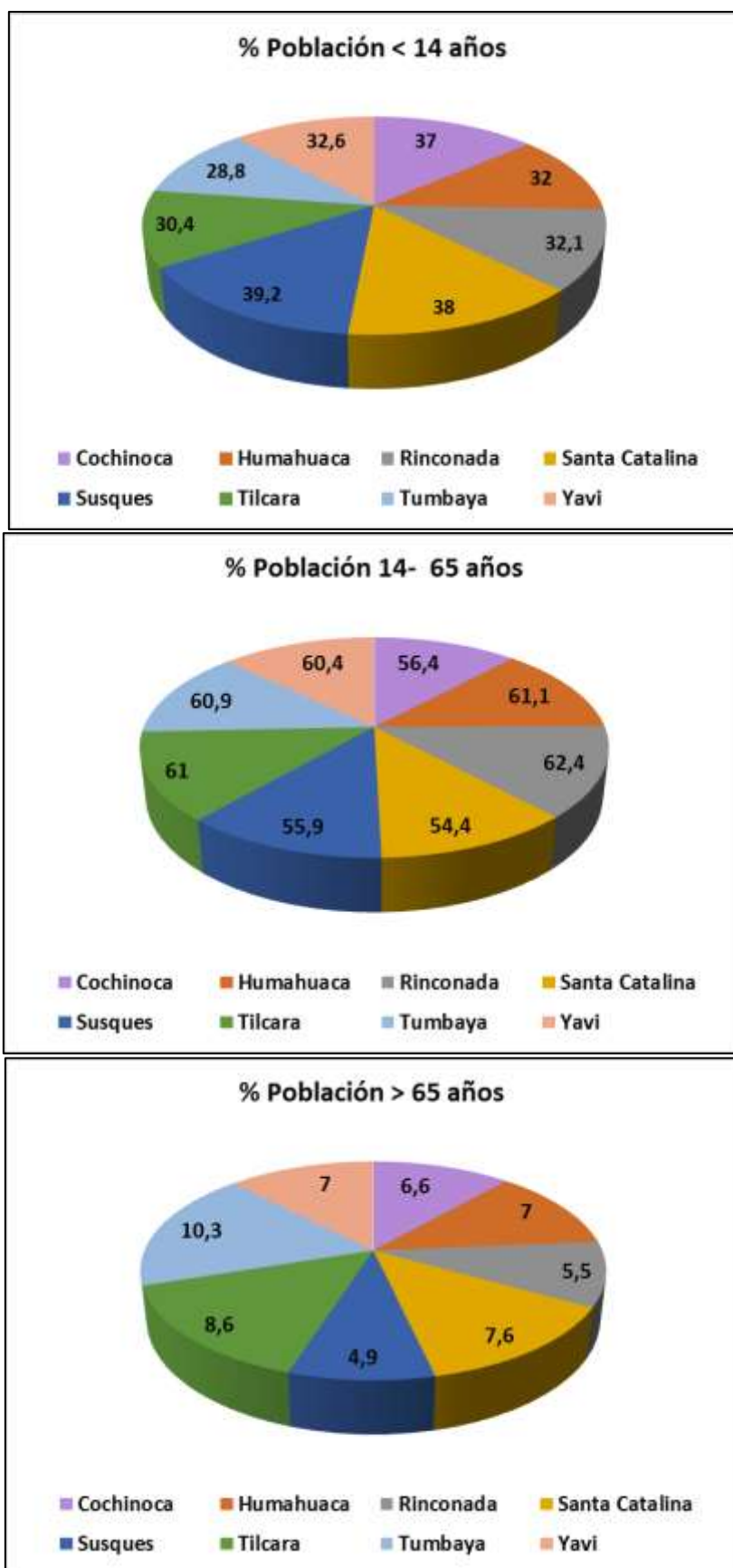


Figura 9.7. Gráficos de porcentaje de población por edad y por departamento de la Puna de Jujuy. Fuente Censo 2010 INDEC. Elaboración propia.

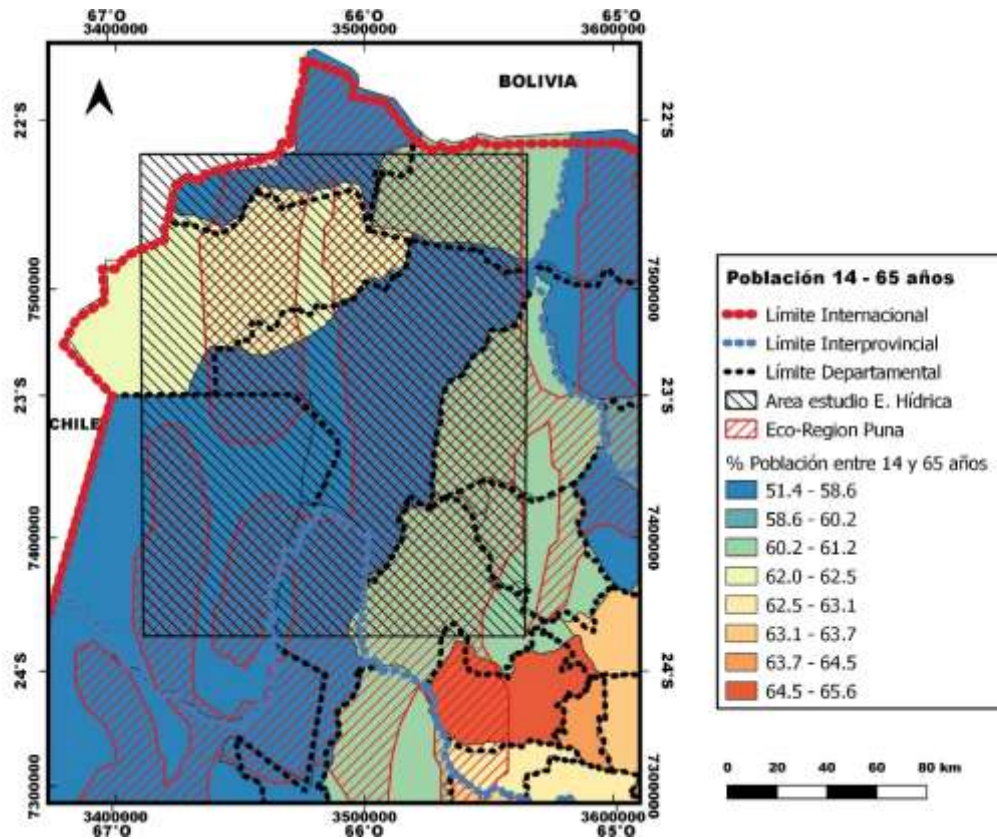


Figura 9.8. Población económicamente activa. Fuentes Censo 2010 INDEC e IGN. Mapa de Elaboración propia.

Los departamentos de Santa Catalina, Rinconada y Susques son aquellos que poseen menos habitantes que el resto de la Puna. La proporción de población de varones se incrementa en Rinconada y Susques y disminuye la población entre 14 y 65 años y mayor de 65 donde las condiciones de vida se tornan más inhóspita y adversas. Figuras 9.5, 9.6, 9.7 y 9.8.

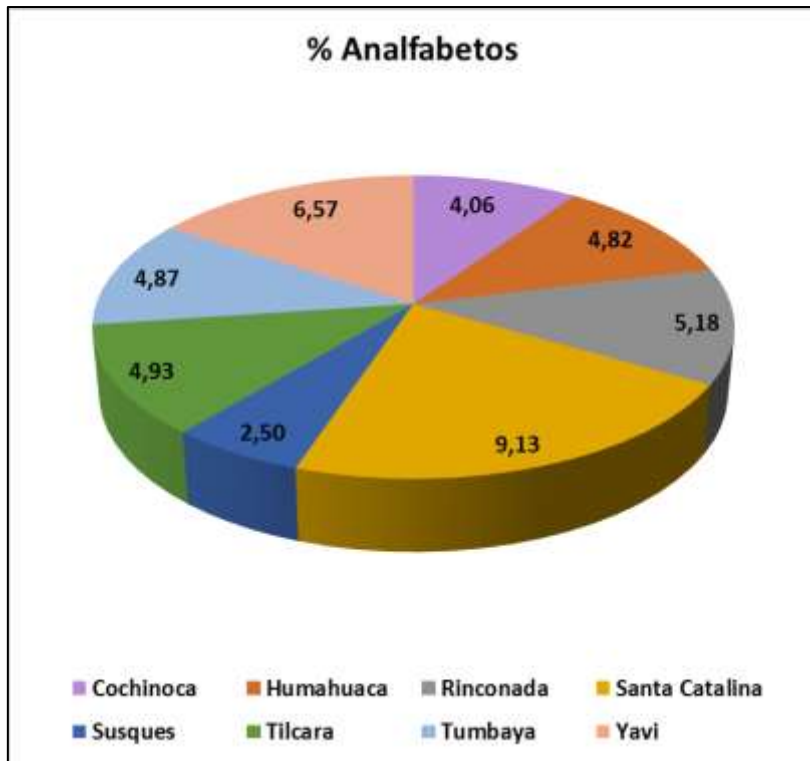


Figura 9.9. Gráfico de porcentaje de analfabetos y por departamento de la Puna de Jujuy. Fuente Censo 2010 INDEC. Elaboración propia.

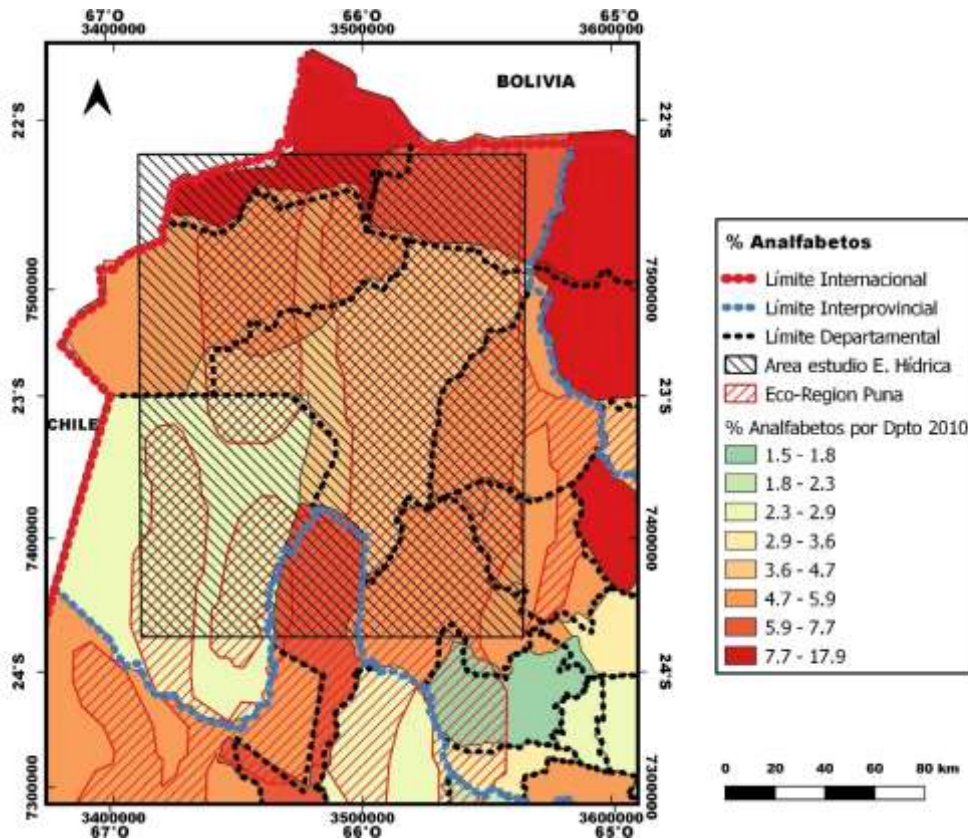


Figura 9.10. Porcentaje de analfabetos por departamento de la Puna de Jujuy. Fuentes Censo 2010 INDEC e IGN. Mapa de Elaboración propia.

En estas ecoregiones a excepción del departamento de Susques, los departamentos de Puna y Altoandino con límites internacional, Rinconada, Santa Catalina y Yavi, mantienen un porcentaje más alto de analfabetos. Figuras 9.9 y 9.10.

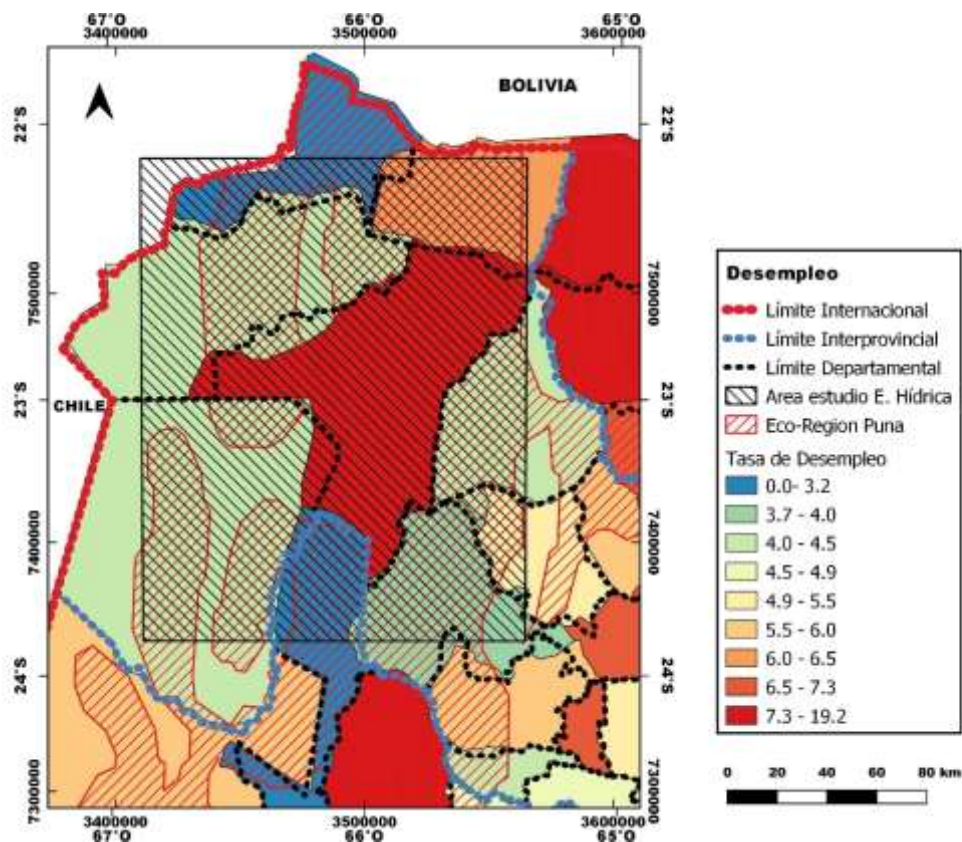


Figura 9.11. Tasa de desempleo por departamento en la Puna jujeña. Fuentes Censo 2010 INDEC e IGN. Mapa de Elaboración propia.

De los departamentos con más habitantes: Yavi, Cochinoaca, Tilcara y Humahuaca; a excepción de este último el resto son los que presentan la tasa de desempleo más alta. Figura 9.11. En esta región la mayoría de la población dependen del empleo público. El resto son pastores, trabajan en la minería o el comercio. El turismo suele circunscribirse a la Quebrada de Humahuaca. El crecimiento de la actividad minera ha dividido a la población en obreros mineros y pastores de Puna. Los conceptos de «vulnerabilidad» y «adaptación» son insuficientes para abordar la complejidad del problema de las amenazas existentes para la reproducción de las sociedades pastoriles ante los escenarios futuros. Una amenaza principal es la reducción de las posibilidades ecológicas para la producción de fibra de los camélidos debido a los posibles efectos del cambio climático sobre los ecosistemas de puna, especialmente sobre la disminución del agua disponible para los bofedales y pastizales naturales y la pérdida de muchos servicios ecosistémicos. **Valdivia, y otros (2012).**

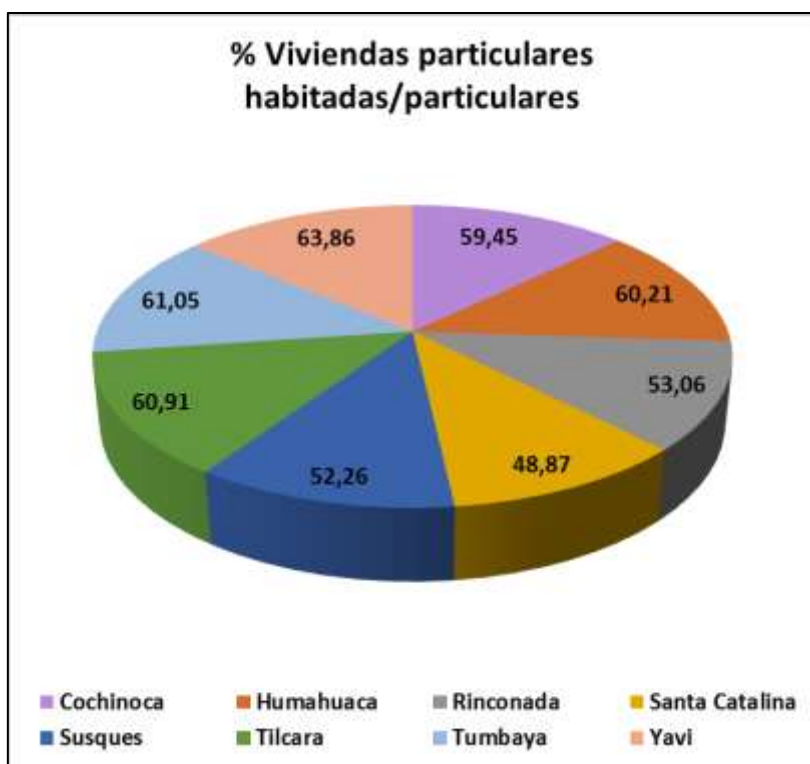


Figura 9.12. Gráficos de porcentaje de viviendas particulares habitadas por particulares y por departamento de la Puna de Jujuy. Fuente Censo 2010 INDEC. Elaboración propia.

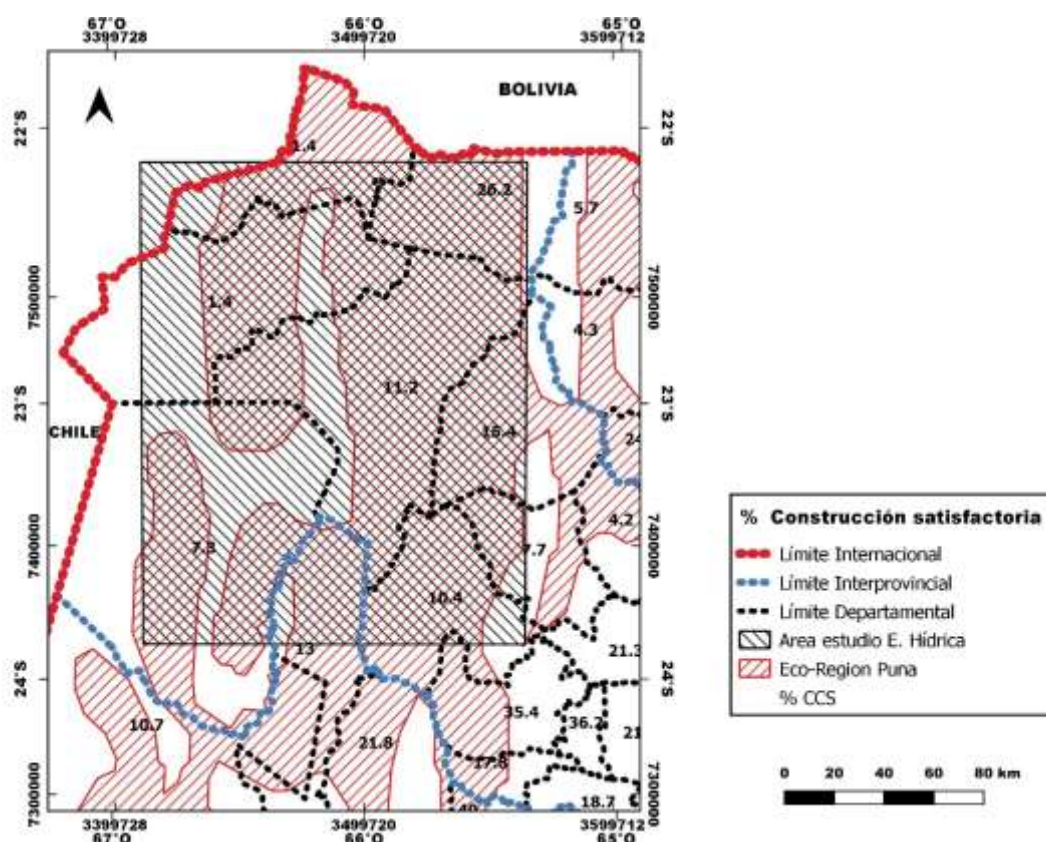


Figura 9.13. Porcentaje de Calidad de Construcción satisfactoria por departamento en la Puna jujeña. Fuentes Elaboración propia en base a Censo 2010 INDEC, IGN y MAYDS.

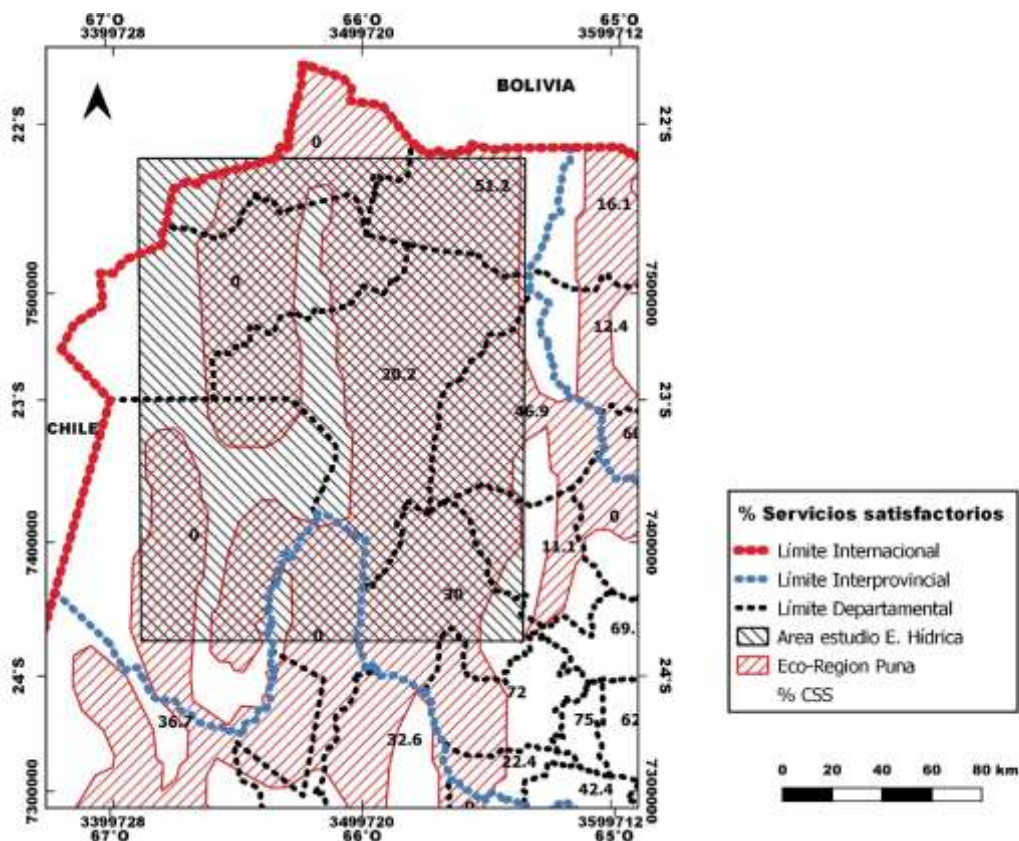


Figura 9.14. Porcentaje de Calidad de Servicios satisfactorio por departamento en la Puna jujeña. Fuentes Elaboración propia en base a Censo 2010 INDEC, IGN y MAYDS.

Nuevamente Santa Catalina, Rinconada y Susques son los departamentos con menor porcentaje de viviendas habitadas en la región, menor porcentaje de calidad de construcción y de servicios satisfactorio. Figuras 9.12, 9.13 y 9.14. Estos habitantes no solo viven en peores condiciones sino también en los ambientes más agrestes y frágiles, lo que los coloca en una situación más expuesta.

Los departamentos Santa Catalina, Rinconada y Susques poseen los mayores porcentajes de hogares con necesidades básicas insatisfechas y puede considerarse como uno de los indicadores de la pobreza. Figura 9.15. Todos los indicadores muestran que los departamentos del oeste de la región presentan peor calidad de vida por falta de recursos económicos y servicios esenciales mientras que, en general los departamentos del este poseen localidades más pobladas, y quizás por ello, con un porcentaje de desempleo más elevado.

El análisis de los índices del INDEC expresado en gráficos y mapas desde la Figura 9.7. hasta la 9.16, nos permite concluir que toda la población de la región de la Puna de Jujuy es altamente vulnerable por distintas causas, ya sea por la mayor cantidad de habitantes sin empleo en los departamentos del este o por las difíciles condiciones de vida en los departamentos del oeste de la Puna de Jujuy.

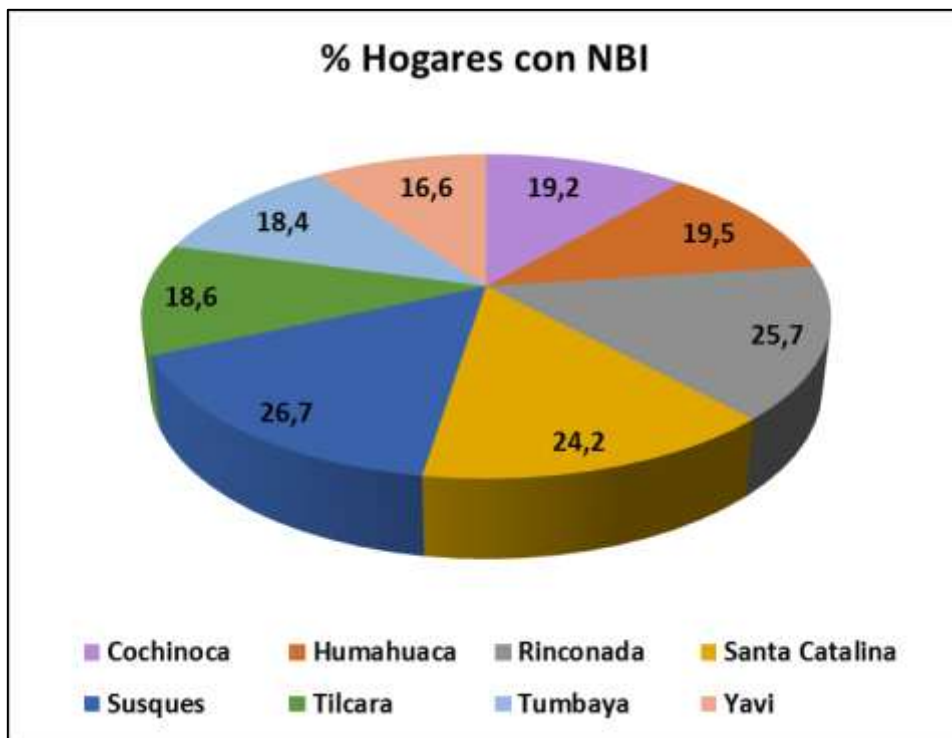


Figura 9.15. Gráfico de porcentaje de hogares con NBI por departamento de la Puna de Jujuy. Fuente Censo INDEC 2010. Elaboración propia.

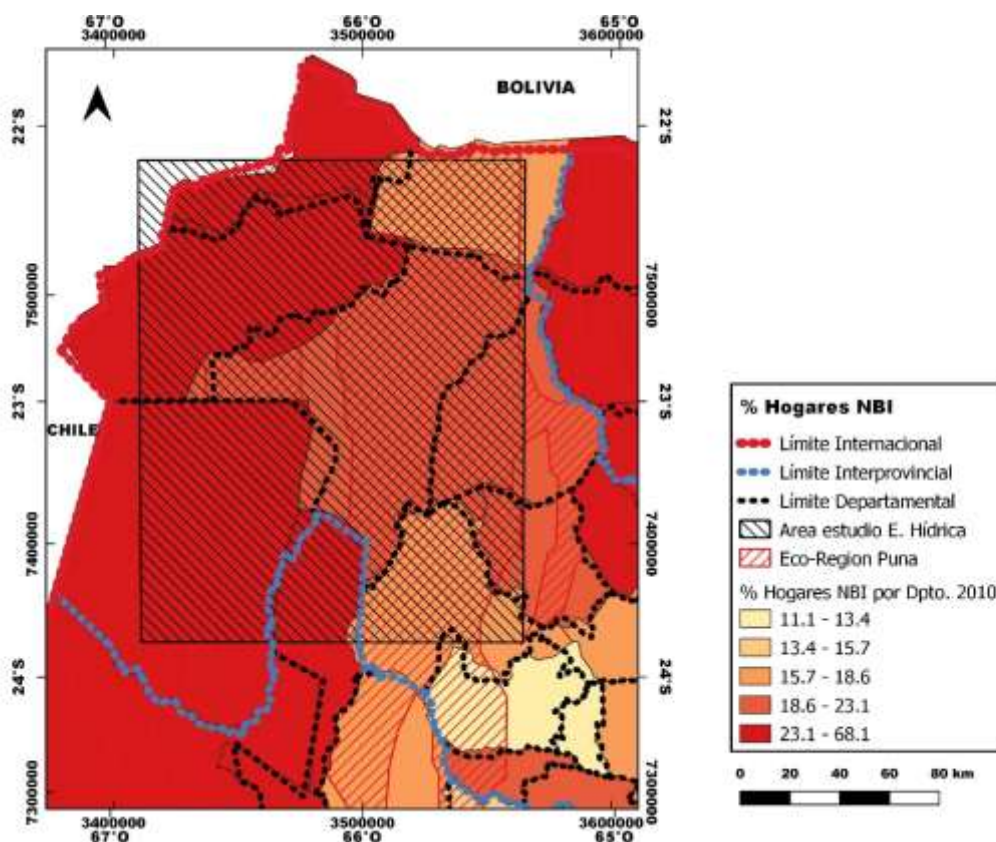


Figura 9.16. Porcentaje de hogares con necesidades básicas insatisfechas por departamento en la Puna jujeña. Fuentes Censo 2010 INDEC e IGN. Mapa de Elaboración propia.

A continuación, esta información será relacionada con los aspectos físicos naturales que hacen a la DT investigados en los anteriores capítulos.

9.4. Relación entre la degradación de las tierras por erosión, ENOS y la población de la Puna de Jujuy

9.4.1. Erosión hídrica (EH), ENOS y su relación con el contexto social

Como ya fuera explicado en el capítulo anterior los mapas de EH surgen de datos de múltiples fuentes y con diferentes tamaños de pixel. Además, el factor suelo ha sido rasterizado a partir de datos del mapa de suelos de **de Chafatinos**. Ello obliga a remuestrear los pixeles a un tamaño común, y en este caso se escogió 90m. Los centros de los pixeles de GPCC, SRTM, MODIS y los rasterizados a partir del mapa de suelos no coinciden, lo que obliga al sistema a remuestrear los pixeles, y la imagen rasterizada del mapa de suelos está limitado a la República Argentina. Se optó por usar una superficie rectangular que cubriera la mayor parte de la Puna, lejos de los límites internacionales de Bolivia y Chile, para evitar la generación de datos no confiables. El límite occidental comienza desde cerca de los 67° oeste, que incluye casi toda la Puna de Jujuy, más hacia el oeste ya corresponde mayormente al bioma Altoandino. Al norte el rectángulo comienza entre los 22° y 23° de latitud sur. Hacia el sector oriental a pesar de ser descripto algunos sectores como Puna por el MAYDS, muchos de ellos incluyen ambientes de la Quebrada de Humahuaca y por eso se consideró el límite entre los meridianos 65° y 65° 30' oeste para cubrir la Puna más representativa. El límite sur se ubica ligeramente al norte de 24° de latitud sur, si bien no se incluyó todo el departamento de Susques, latitudes superiores involucrarían mucha superficie de otros departamentos como Gral. Belgrano y eso requiere muchos recursos computacionales. **Ver Figura 9.17.** Por otra parte, los mapas socioeconómicos y los biofísicos generalmente no coinciden. El departamento como Susques, a modo de ejemplo, se ubica en dos ecoregiones, Altoandina y Puna, mientras que los datos del INDEC se publican a nivel de departamento. La superficie de la Puna de Jujuy más representativa ha sido procesada. **Figuras 9.17a., 9.17b., 9.18, 9.19 y 9.20.**

no eran dos autores??
aun me falta el año

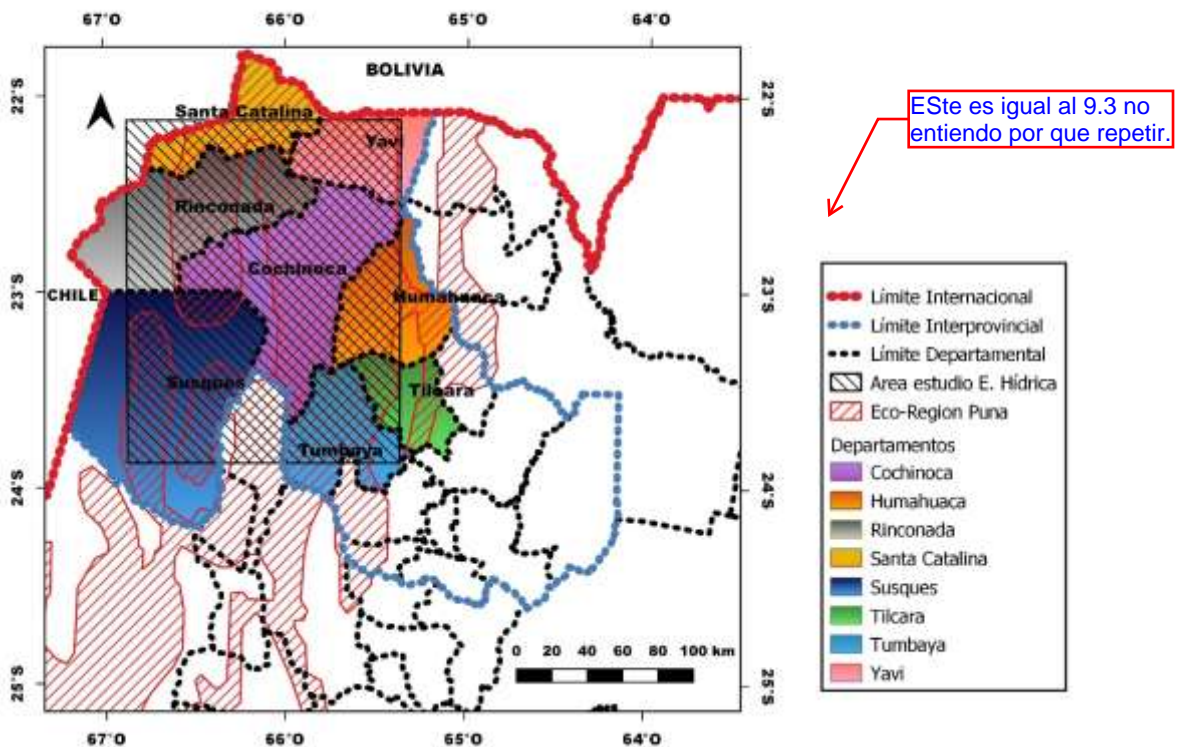


Figura 9.17. Área de análisis de EH. Departamentos de Jujuy donde se encuentra la Puna más representativa por su altura y extensión. Fuentes IGN y MAYDS. Mapa de Elaboración propia.

En los alrededores de las localidades de San Juan de Oro del Dpto. Santa Catalina, Tres Cruces del Dpto. Humahuaca, Coranzulí, del Dpto Susques, sierras al E y NE Abra Pampa Santa Ana de la Puna Abdon Castro Tolay, Quebraleña, Quera, Casabindo del Dpto. Cochinoqa se incrementan los pixeles con valores de grave 50-100 t/ha/año a muy grave a 100 200 t/ha/año durante la fase La Niña respecto de El Niño. Este aumento se explica en toda la región por el incremento de erosividad de las lluvias en áreas con elevadas pendientes, pero en algunos casos sobre todo al SO de la región son favorecidos por sedimentos menos coherentes en lugares con muy baja cobertura vegetal y se puede sumar el aporte de la formación de lluvias orográficas por ascenso de aire caliente en las laderas de las sierras durante el verano.

Al norte y noreste de la región se incrementan las precipitaciones y por ello la erosividad de las lluvias que en los años Neutros y La Niña se ven incrementados como fuera descrito en los capítulos anteriores.

La erosión hídrica ligera menores a 12.5 t ha⁻¹ año⁻¹ (15 t ha⁻¹ año⁻¹ aproximadamente 1 mm de suelo) de las localidades de Yoscaba y Casira los parajes de, Puesto Grande, Cieneguillas, Pasajes, Rodeo Chico del Dpto. Santa Catalina, la localidad de Pumahuasi y los parajes Ojo de agua Escaya Chocoite, Caracata, San José y Cerrillos del Dpto Yaví podrían incrementarse en años La Niña y neutros alcanzando pérdidas mayores, pero siempre menores a 50 t ha⁻¹ año⁻¹.

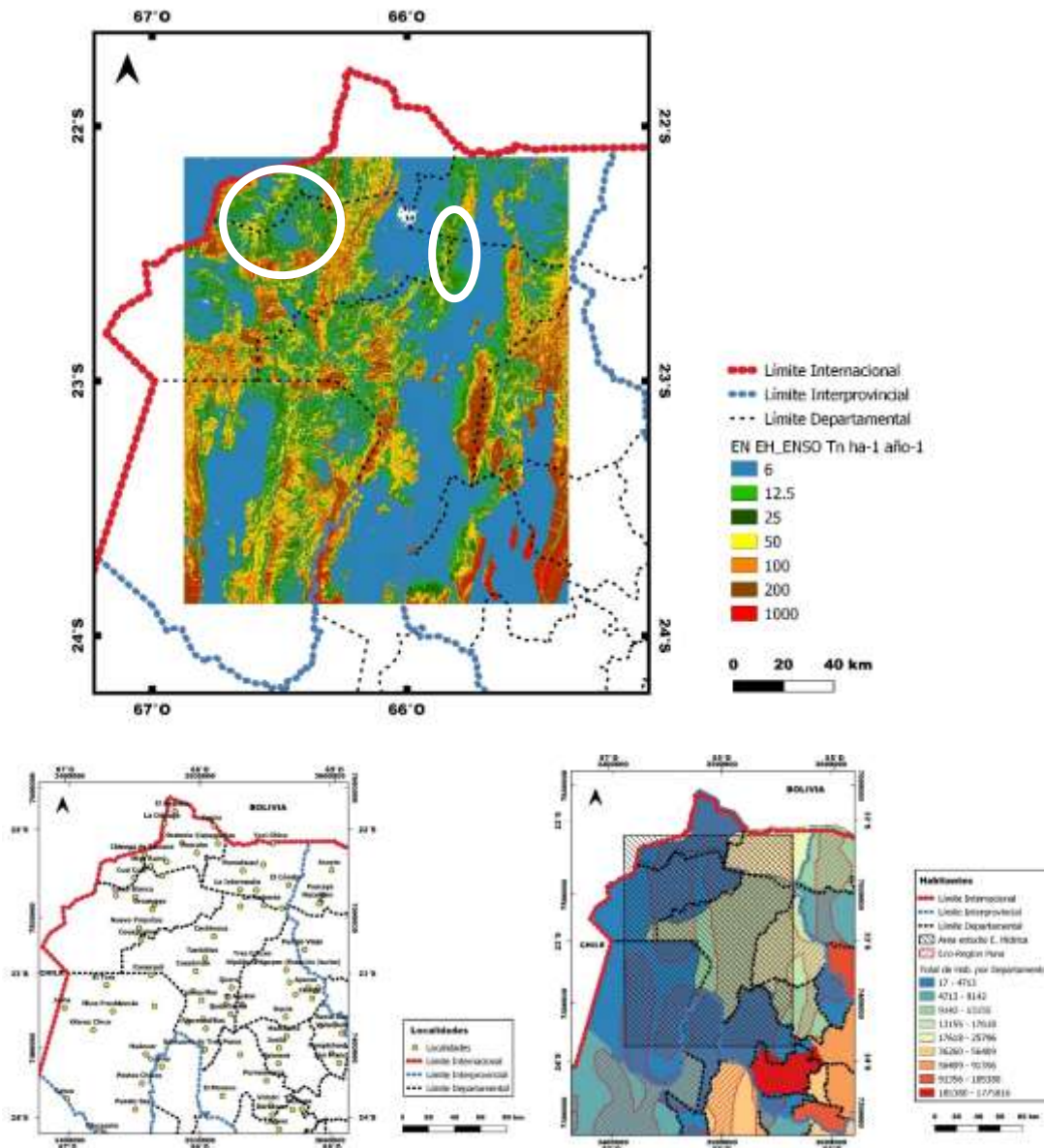


Figura 9.18. Erosión hídrica del promedio de los eventos El Niño Elaboración propia y Cantidad de habitantes por departamento. Fuentes INDEC, IGN y MAYDS y mapa de elaboración propia. Las áreas encerradas con círculos y óvalos blancos en los mapas de EH elaborados en esta tesis marcan en promedio la disminución de extensión de superficie durante El Niño con menores pérdidas en tn ha-1 año-1 respecto del promedio de los eventos de las otras fases.

La mayor parte de la región, en las siguientes localidades, en su mayoría son pequeños caseríos de pocas manzanas, alcanzan un grado de erosión hídrica moderado: Hornillos paraje del Dpto Santa Catalina; los parajes de Cangrejos Cangrejillos, Pulpera, Sansana Norte, Sansana y Tafna del Dpto Yaví; las localidades de Abra Pampa, Cochino, Abrolaite, Agua de castilla, San Francisco de Alforcito, Rinconadillas, Tambillos, Tusaquillas y los parajes de Arbolito Nuevo, Cochagasta, Peñas Negras, Saladillo, Río Grande, Santa Rosa, San José de Miraflores, Sauzalito y Sayate del Dpto Cochino; las localidades de Coyaguaima, Orosmayo, Rinconada

Rosario de Coyaguaima y los parajes San Marcos, Chijuá, Cincel, Mina pan de azúcar, Mina Rumicruz, Mina Pirquitas, Pozuelos, del Dpto Rinconada; las localidades de y los parajes El Angosto, El Moreno, San José de Chañi Pozo Colorado,, Tres Morros, del Dpto Tumbaya; las localidades de Mina Providencia, Olaraz Chico, Susques, San Juan de Quillaques y los parajes Huaira Huasi, Turi Lari del Dpto Susques;

En los años neutros y La Niña la erosión hídrica puede incrementar su gravedad dependiendo de cuan fuerte sean las fases del evento ENOS durante la estación lluviosa, provocando mayores daños de infraestructura, bienes y personas. Figuras 9.6, 9.18, 9.19 y 9.20.

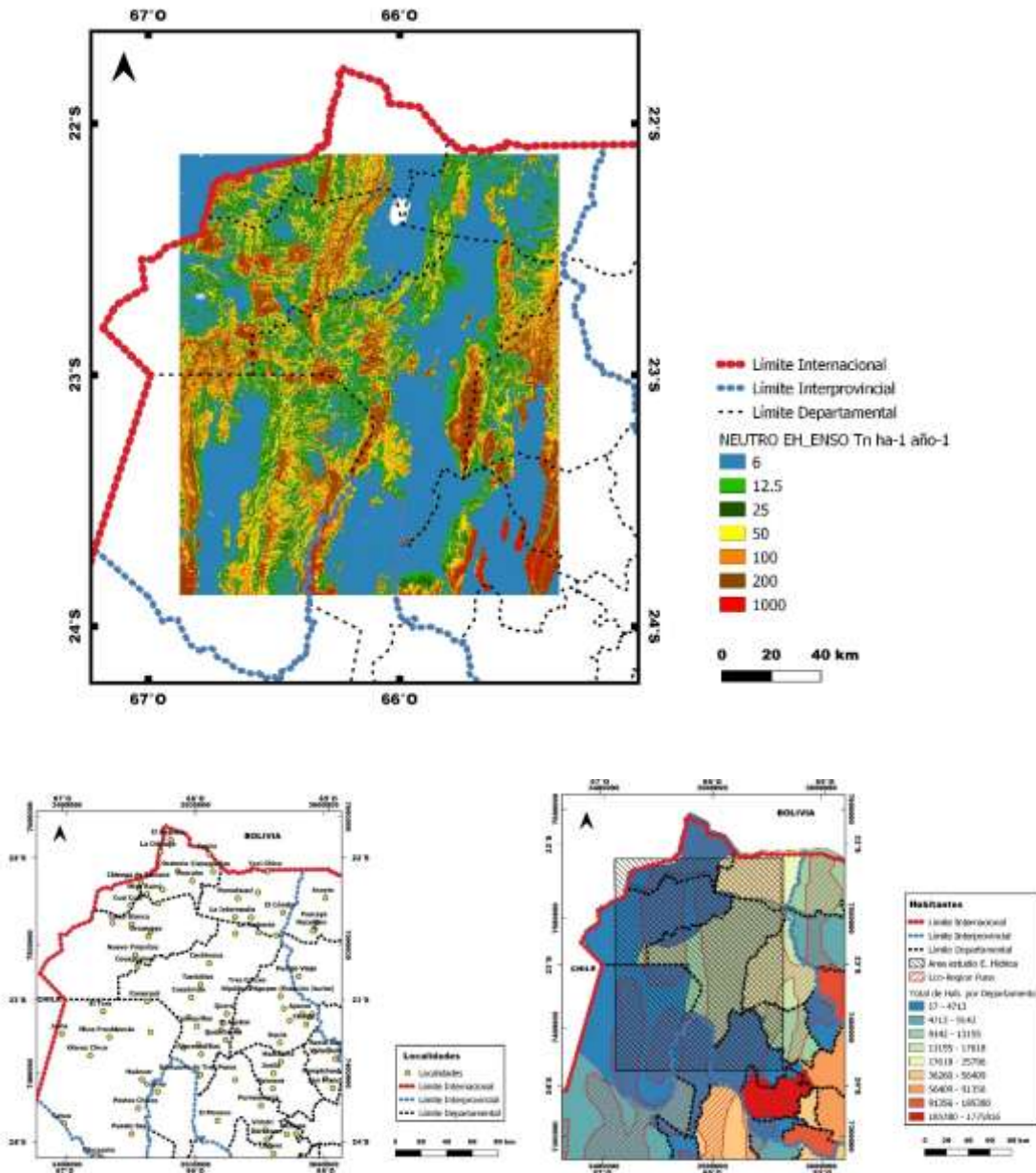


Figura 9.19. Erosión hídrica del promedio de los eventos Neutros Elaboración propia y Cantidad de habitantes por departamento. Fuentes INDEC, IGN y MAYDS y mapa de elaboración propia. Muestra resultados similares a La Niña.

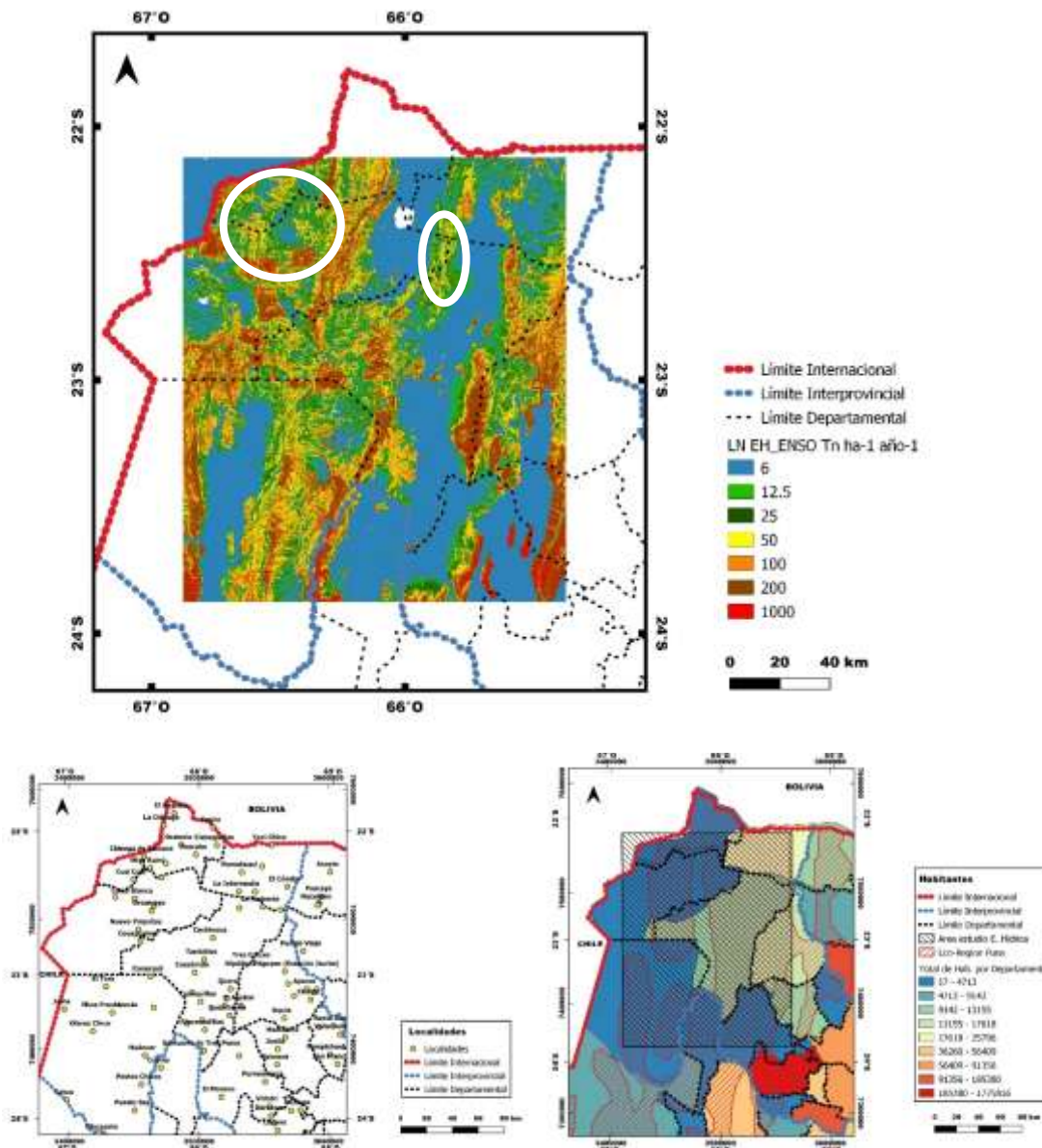


Figura 9.20. Erosión hídrica del promedio de los eventos La Niña Elaboración propia y Cantidad de habitantes por departamento. Fuentes INDEC, IGN y MAYDS y mapa de elaboración propia. Las áreas encerradas con círculos y óvalos blancos en los mapas de EH elaborados en esta tesis marcan en promedio el incremento de extensión de superficie con mayores pérdidas en tn ha-1 año-1 respecto del promedio de los eventos El Niño.

Durante los años neutros y La Niña se manifestará sobre todo el proceso de erosión hídrica: en el pie de las sierras, bajadas, glaciares y conos aluviales. Los departamentos de Santa Catalina, Cochinocha y Yavi al ubicarse al E y NE de la Puna reciben montos de lluvias más elevados en estos eventos y sufrirán un mayor impacto de la EH. Considerando la vulnerabilidad de sus habitantes y la exposición sus bienes, serán muy afectados.

Las sierras ocupan una extensión importante en el departamento de Susques y si bien las precipitaciones son menores hacia el suroeste en la Puna de Jujuy, con una baja densidad de población de 0.4 habitante km⁻², por la fragilidad de las tierras y los elevados gradientes de las pendientes, sus suelos débiles y la baja cobertura vegetal sumada a la mayor vulnerabilidad social de este departamento, el número de habitantes se eleva durante las fases La Niña y neutra en esta región.

Esta tesis demuestra que como las amenazas naturales complejas y los componentes de las amenazas dramáticamente, pero también el crecimiento de la importancia del elemento humano. El cambio climático y el aumento de la importancia del OS afectan a la humanidad por el incremento en frecuencia y magnitud de eventos extremos, pero también es el hombre el que lo genera. La humanidad ha contribuido siempre a las amenazas naturales y ahora ha provocado nuevos tipos de amenazas tales como aquellas generadas por el cambio global del medio ambiente (Mitchell, 1996; Castro y Zusman, 2009).

Tal vez si el marco teórico es de la Dra. Natenzon no sería apropiado hablar de amenaza natural sino de peligrosidades.

yo pondría son las actividades antrópicas o antropogénicas...el hombre con minúscula no hace referencia a la Humanidad.

9.4.2 Erosión eólica (EE), ENOS y su relación con el contexto socioeconómico

Al E y SE de la Laguna de los Pozuelos este proceso se incrementa en promedio de 0-12 t/ha/año a 12-25 t/ha/año, de ligera a moderada, comparando entre las fases La Niña y El Niño durante el período 2000-2016. Hacia el NE de Abra Pampa aumenta de 50-100 a 100-200 t/ha/año pasando de grave a muy grave. En cambio, los médanos geológicos que se encuentran entre Juella y El Aguilar que tienen un foco de erosión muy grave de 100-200 t/ha/año, y ya no se modifica su gravedad entre fases. Este comportamiento de estabilidad entre fases se repite en las sierras, pero en este caso se mantiene porque no existe erosión eólica. Hacia el NO de la Laguna de los Pozuelos mantienen un grado ligero de EE independiente de las fases, probablemente porque en esas regiones se encuentran mayores precipitaciones como ya fuera comentado en el capítulo 2. Esta afirmación se puede corroborar a partir de los datos obtenidos de las grillas del GPCC que fueron utilizados para el análisis de la erosión hídrica en el capítulo anterior.

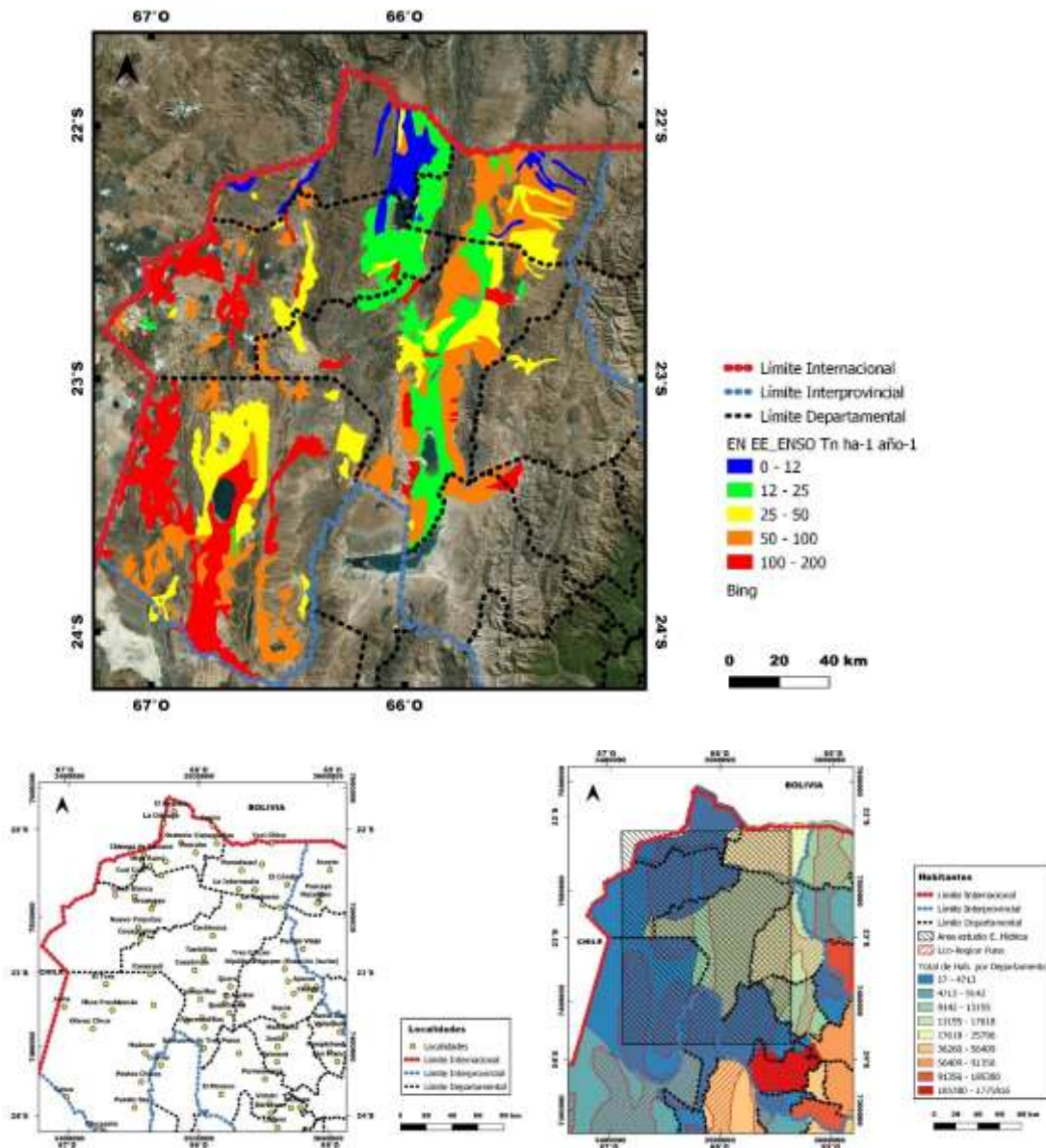


Figura 9.21. Erosión eólica para la fase El Niño por departamentos y cantidad de habitantes. Fuentes INDEC, IGN, MAYDS y mapa de EE de elaboración propia. Mapa de elaboración propia.

Su gravedad aumenta de ligero a grave en el límite de los Pozuelos, de moderado a grave en el límite de los Pozuelos y de grave a muy grave en Susques al sur del salar de Olaroz.

Las referencias no se ven...y los nombres están muy pequeños. idem para el resto de las figuras

de la Laguna de los Susques y de grave a

En épocas de sequía la Laguna de los Pozuelos se convierte en un foco de erosión eólica, que amenaza las localidades y parajes ubicadas al E: La Intermedia y los parajes el Rodeo, Cerrillos Dpto de Yaví; y hacia el N las localidades de Santa Catalina, Yoscaba, Cieneguillas y Casira y los parajes Rodeo Chico Puesto Grande, y Piscuno y hacia el sur y SE los parajes de, Pozuelos y Carahuasi del Dpto. Rinconada.

Hacia el oeste el paraje de Lagunillas y SO de la Lag. de los Pozuelos los parajes de Cincel, Mina Pan de Azúcar, Ciénaga Grande, Chijua del Dpto. de Rinconada

Las localidades de Cangrejos Dpto de Yaví, y La Redonda Dpto. de Cochinoa se encuentran en el área de influencia de los antiguos médanos geológicos que atraviesan las sierras orientales del valle del R. Miraflores. Estos pueblos están expuestos a la erosión eólica, los vientos en la región suelen ser frecuentes en el sentido NE-SO, sin embargo, estos médanos se mueven en la dirección SO-NE o NO-SE dependiendo de la época del año o del momento del día. Si en las próximas décadas, de acuerdo a las predicciones de cambio climático ya comentadas, se incrementara la frecuencia de los eventos El Niño, con el consecuente aumento de los valores de los factores climáticos de los modelos de EE: C y WF, como fuera mostrado en el capítulo 7 de esta tesis, es probable que aumenten las consecuencias de la degradación por erosión eólica en frecuencia, extensión e intensidad.

Las localidades de Abra Pampa los parajes de Potrero de la Puna, Tabladitas Rumicruz, Río Colorado y todas las localidades y pasajes que rodean la laguna de Guayatayoc cuando se seca durante la fase EN en el Dpto. Cochinoa se incrementa un grado la erosión eólica entre las fases La Niña y El Niño. Cuanto mas lejos del centro de la Laguna mayor es la gravedad de la EE.

Se afectan las localidades de Abrolaite Tusaquillas, Quera, Santa Ana de la Puna, Quebraleña, Casabindo, Rinconadillas, Agua de Castilla, Tambillos y Santuario de tres Pozos, rodean la laguna de Guayatoc y son amenazadas con tormentas de polvo cuando esta laguna se seca deja todo el sedimento expuesto al viento sin obstáculos. Del mismo modo son amenazados los parajes de Cochagasta, Sayate, Sauzalito, Miraflores de la Candelaria, San José de Miraflores que se ubican cerca de importantes focos de erosión eólica (ríos secos, médanos y lagunas secas) todos pertenecientes al Dpto. de Cochinoa y la localidad de El Aguilar del Dpto de Humahuaca.

En dirección E-NE de las salinas grandes que a veces se convierten en verdaderas fuentes de tormentas de polvo y en se continua en la misma dirección los médanos, se encuentran las localidades de Pozo Colorado, La Poma, El Portillo, Volcán de Yacoraite, El Aguilar del Dpto. Humahuaca, Puerta de los Colorados, Piscuno, Saladillo, El ChurcalTres Morros, del Dpto. Tumbaya: y hacia el N Santuario de Tres Pozos del Dpto. de Cochinoa

En los alrededores de las localidades de Susques, Coranzulí y paraje Huaira Huasi Dpto. Susques, localidades de Tusaquillas y Rinconadillas y paraje el Sausalito. Ver Figuras 9.21, 9.22 y 9.23.

REcien aquí aparece la referencia a las figuras de las cuales venis hablando. Tendría que ser mas arriba cuando empezas a comparar. Como no se ven los nombres de los lugares donde hablas es muy dificil poder corroborar que lo que decis es lo que sucede. La idea de la generación de cartografía es que justamente se pueda observar a simple vista los cambios espaciales.

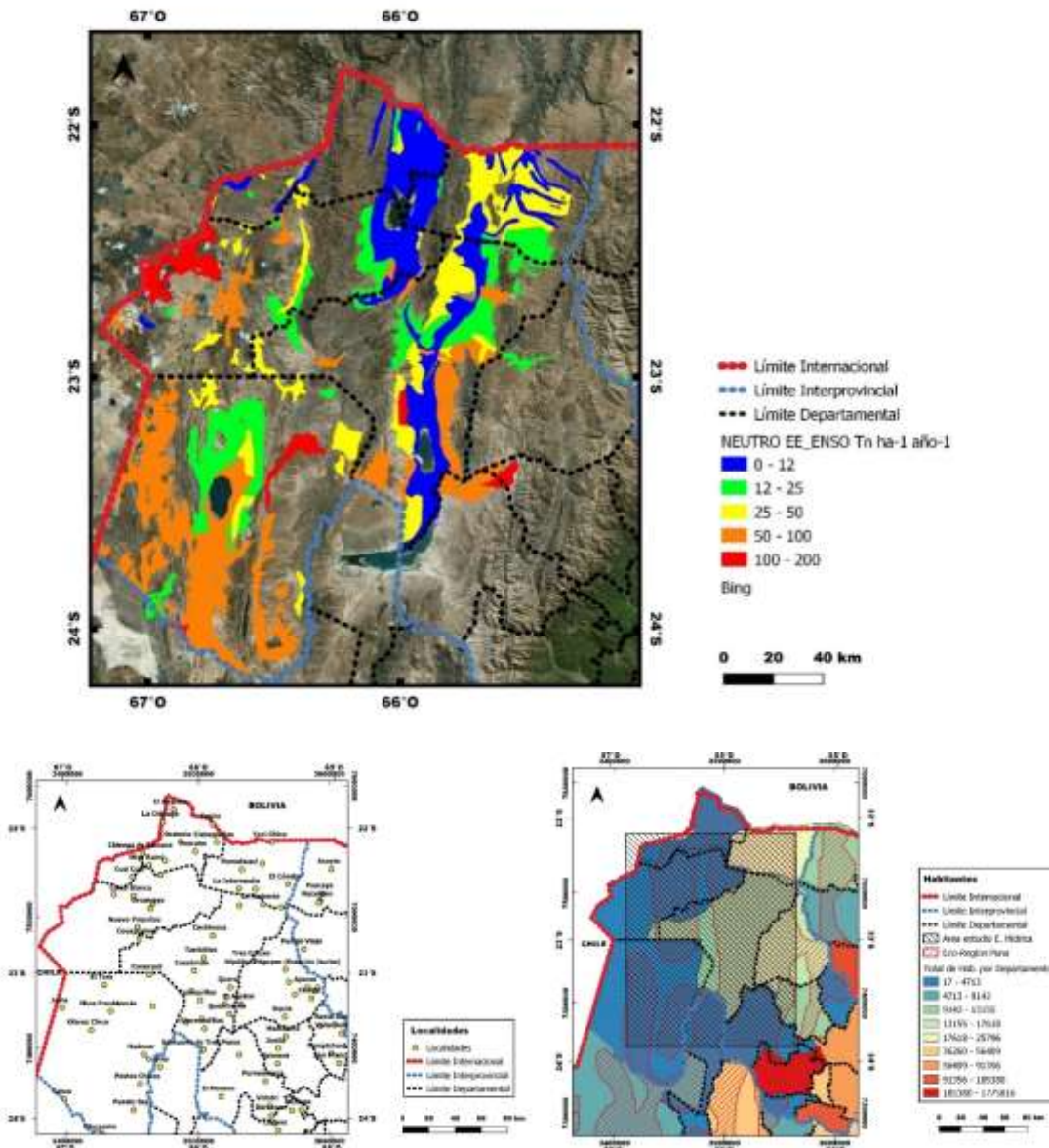


Figura 9.22. Erosión eólica para la fase neutra por departamento y cantidad de habitantes. Fuentes INDEC, IGN, MAYDS y mapa de EE de elaboración propia. Mapa de elaboración propia.

este termino hace alusion a???

La Ruta nacional 9 y la ex ruta 40 recorren de N a S el departamento de Cochinoca, con una población de 12,656 habitantes, 1,6 habitante km^2 . La principal localidad es Abra Pampa conocida como la capital de la Puna y la Siberia argentina. Más allá del empleo público y los subsidios, el medio de vida más importante es la ganadería extensiva, fundamentalmente la cría de ovinos, caprinos y llamas. Durante los años correspondientes a la fase El Niño se incrementa la pérdida por erosión eólica, activando las fuentes de polvo y su incidencia de partículas $\text{PM}_{<10}$ sobre la población. Durante los periodos de fuertes ráfagas de vientos se activan focos de tormentas de polvo en Puesto del Marques, Huancar, Huancar del Potrero y Cangrejillos. En quechua la palabra “huancar” significa “tambor” y este nombre se debe a sus arenas silbarinas durante la acción del viento, en especial en el mes de agosto. Millones de dunas a lo largo y ancho en los desiertos del mundo y zonas

costeras, tienen la rara particularidad de emitir sonidos que van desde una música suave a terroríficos estampidos. Estos incrementos de la EE aumentarían el riesgo de desertificación con el mismo grado de los indicadores de la vulnerabilidad de las poblaciones ya descritos en el punto 9.2. A pesar del conocimiento ancestral con buenas prácticas de manejo de la Pachamama durante cientos de años, si se incrementan la frecuencia y magnitud de las amenazas de los eventos climáticos extremos sobre la DT (como se demuestra en este capítulo y el anterior), podría superarse la capacidad de resiliencia de las poblaciones de algunas localidades más vulnerables que tendrían que abandonar sus tierras.

Los años La Niña y neutros incrementan la erosión hídrica en el pie de monte. Los glaciares y abanicos aluviales se tornan más activos. La alternancia entre erosión hídrica y eólica en tierras frágiles, amenaza estos territorios. La desertificación y migración pueden volverse realidad en las poblaciones que de por sí ya son vulnerables y con una elevada exposición de personas y bienes.

En el departamento de Yavi con 20,806 habitantes ($7.1 \text{ habitante km}^{-2}$) se ubica La Quiaca que limita con Bolivia y es la ciudad más importante de la Puna jujeña desde el punto de vista económico. Aquí en la región más montañosa y hacia el este se incrementa la EH en los años neutros y La Niña. No solo se ve afectada la tierra por la degradación, sino que también la población está amenazada por la escasa actividad económica. En muchos casos después de las intensas lluvias de verano se cortan los caminos y los poblados quedan incomunicados o la infraestructura de tendidos eléctricos se ve afectada. Además, se incrementa la EE durante la fase El Niño. Aunque este proceso se manifiesta con menor intensidad, afecta una extensión muy importante de este departamento.

En el departamento de Rinconada con 2,488 habitantes ($0.4 \text{ habitante km}^{-2}$) se ubica en la porción sur de la laguna de los Pozuelos. Aquí se expresan cambios muy marcados con alternancia entre La Niña y El Niño tanto en erosión hídrica como eólica. Esta situación marca la fragilidad por DT en el departamento, mientras que en Yavi predomina la erosión hídrica y en Cochinocha los procesos eólicos. En Rinconada ambos procesos presentan cambios importantes en la alternancia del ENOS. Si bien, la desocupación informada por el INDEC es menor al 5% es posible que los habitantes ya no se ocupen en buscar empleo porque no lo encuentran. El estado sostiene gran parte de la población con subsidios, y aun cuando obtengan ingresos por su producción ganadera estos no les alcanzan para su subsistencia. No se puede analizar un solo indicador por separado. La poca población que habita el territorio está expuesta a la fragilidad del mismo, con mucha vulnerabilidad y sin las mínimas necesidades básicas cubiertas.

El departamento de Santa Catalina con 2,800 habitantes ($0.9 \text{ habitante km}^{-2}$) se ubica en la porción norte de la Laguna de Los Pozuelos. Aquí, se expresan marcados cambios entre La Niña y El Niño en la acción de la erosión hídrica. Esta situación de fragilidad del sistema es similar a Yavi en la alternancia del ENOS. Aunque en mejores condiciones que en Rinconada, la poca población que habita el territorio está expuesta a su fragilidad, y amenazada por la EH especialmente en las fases neutra y La Niña, con alto analfabetismo y sin las mínimas necesidades satisfechas.

En el departamento de Susques habitan 3,791 personas ($0.4 \text{ habitante km}^{-2}$). Del mismo modo que Rinconada con densidades de $0.4 \text{ habitante km}^{-2}$, aquí se alternan cambios muy marcados entre La Niña y El Niño tanto en erosión hídrica como eólica. Esta situación muestra la fragilidad del sistema con cambios importantes en la

alternancia del ENOS. La amenaza es muy fuerte con extensas superficies afectadas por EE durante los años El Niño. La vulnerabilidad y calidad de vida de los habitantes los expone a situaciones críticas de supervivencia (lo que ha sido expresado en el ítem 9.2. de este capítulo).

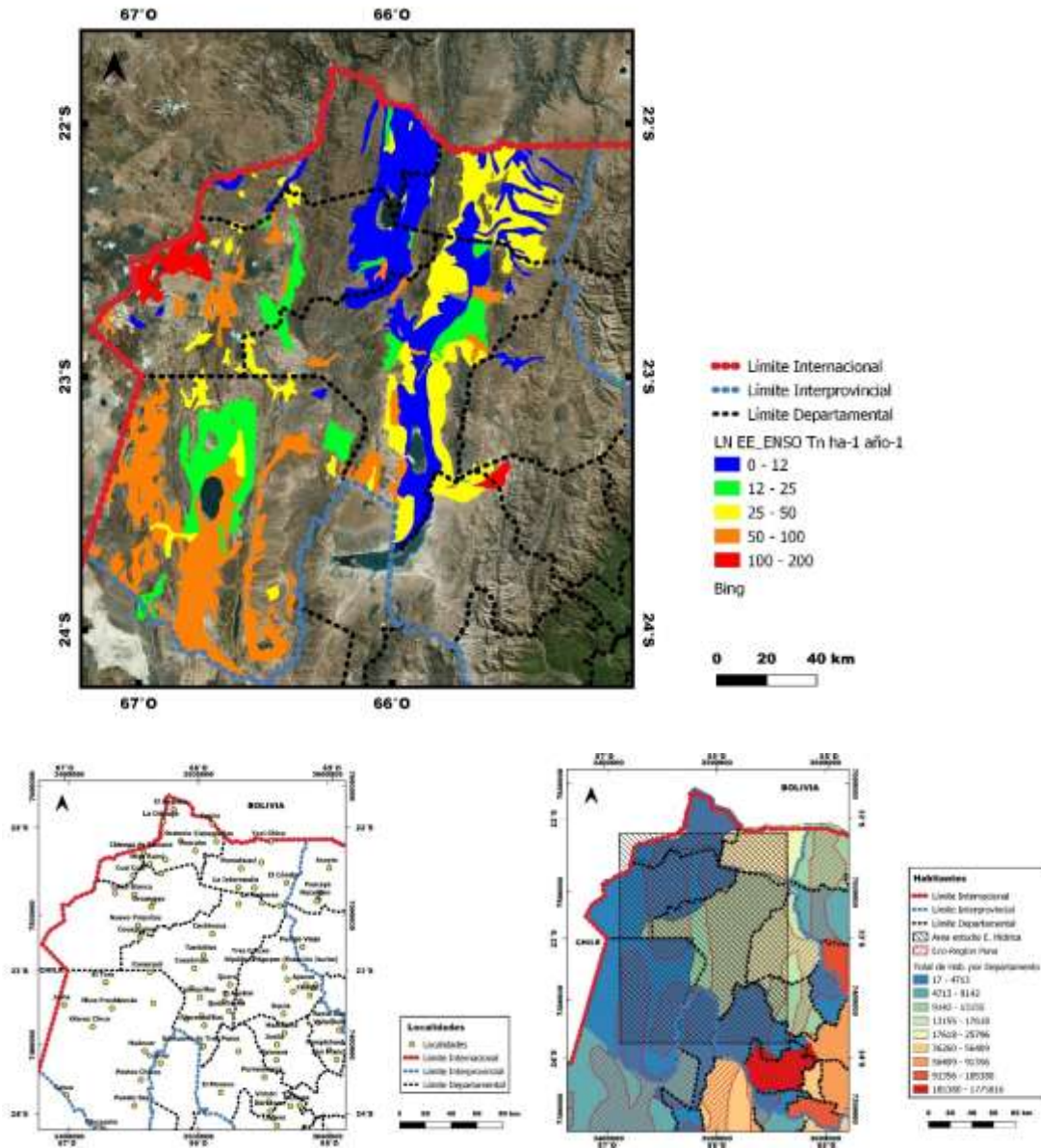


Figura 9.23. Erosión eólica para la fase La Niña por departamento y cantidad de habitantes. Fuentes INDEC, IGN, MAYDS y mapa de EE de elaboración propia. Mapa de elaboración propia.

9.5. Predicciones y propuestas

De acuerdo con el modelo HADCM3 entre las décadas 2020, 2050 y 2080 y comparando con las décadas anteriores (1961-1990), se esperan escenarios de disminución de la precipitación en la Puna (Barros, 2005). Como se expresó anteriormente el cambio climático afectará la intensidad y frecuencia de las fases del ENOS. En un esquema más simplificado vemos como las oscilaciones climáticas debidas al ENOS, el fenómeno más importante en la distribución y cantidad de lluvias interanuales presentes en la región, actúa sobre la cobertura vegetal (CV) y en consecuencia modifica la erosión hídrica y eólica en la Puna argentina. De cumplirse estos pronósticos de cambio climático, su incidencia afectaría el ENOS y también los procesos de erosión de suelos. Minvielle y Garreaud (2011), al examinar los cambios proyectados en el viento troposférico libre, confirman una reducción significativa de la precipitación entre 10% y 30% para fines del siglo XXI en el Altiplano sudamericano. Estas predicciones tienen una consecuencia importante para la población, por actuar sobre los recursos hídricos y generar condiciones que llevan a una mayor inseguridad alimentaria debido al aumento de la variabilidad climática interanual.

La DT y desertificación pueden ser prevenidas y mitigadas a través del manejo sustentable fueron definidos en el capítulo 1. Alcanzar este objetivo y planificar con un programa viable requiere de la cuantificación y valoración de la degradación en un ambiente frágil como la Puna, donde sus acciones debidas al incremento de lluvias y sequías extremas intercaladas pueden ser devastadoras de algunos ambientes, con magnitudes más importantes que las originadas por las diferentes intensidades de uso de la tierra. En esta tesis doctoral se demostró que la alternancia de mayores y menores precipitaciones se corresponde con las diferentes fases del ENOS en la Puna. Este comportamiento fue seguido en un primer análisis por la observación de la extensión de las lagunas, ello podría ayudar a alertar sobre los incrementos de degradación de las tierras debido a los eventos extremos (Maggi et al. 2010). Es así, que una de las más importantes pérdidas en la calidad de las tierras, se halla asociada a la erosión de los suelos siendo la erosión hídrica y eólica considerados procesos determinantes para la identificación y cuantificación de la desertificación (FAO, 1984; Navone y otros, 2011). La erosión no solo depende del sobrepastoreo y de los malos usos de una porción de la tierra, sino que en el caso de la tasa de erosión geológica también se puede ver modificada por los cambios en el ambiente causados por las oscilaciones climáticas. Si la frecuencia e intensidad de estas últimas cambian por el calentamiento global, eventos con fases extremas de El ENOS se presentarán con mayor frecuencia, magnitud, extensión e intensidad. Entonces será muy importante conocer en qué medida los cambios globales afectan los ambientes y ecosistemas independientemente del buen uso y manejo adecuado de los recursos naturales mediante la aplicación de prácticas conservacionistas de la tierra "Pachamama" que realizan los pobladores, heredados del conocimiento ancestral por siglos. Estas buenas prácticas podrían ser insuficientes para mitigar la DT provocada por las mayores oscilaciones climáticas superando la degradación neutral de las tierras (DNT). Este último concepto es definido por la UNCCD como: "una situación en donde la cantidad y calidad de los recursos de la tierra para sustentar las funciones y servicios **eco sistémicos** e incrementar la seguridad alimentaria se mantienen estables

o aumentan en los ecosistemas en las escalas temporal y espacial”. Las opciones de gestión para alcanzar la DNT son: a) Prevenir, evitar o minimizar la degradación a través de la planificación en el uso de la tierra y el manejo sostenible de la tierra. b) Rehabilitar o restaurar tierras degradadas. La mejor opción de combinaciones depende de: a) Causas, tipos y extensión de la degradación; b) Resiliencia de los recursos; c) Prioridades y capacidades existentes a nivel nacional. **Safriel, (2017).**

En este trabajo se logró identificar el momento de la ocurrencia de la transición climática del Pacífico en la Puna en la década de 70, se probó la incidencia del ENOS en la extensión de las lagunas, la cobertura vegetal (CV) que incide en la producción de biomasa para la producción ganadera, la erosión de los suelos para las distintas fases y en los distintos ambientes de los departamentos de la Puna jujeña, y se analizó como podrían afectar los pronósticos de cambio climático para esta región.

Estos cambios en las fuerzas naturales originadas muchas veces en otras partes del planeta van a impactar en los ambientes más frágiles y sobre los bienes y habitantes de las localidades de Abra Pampa y La Quiaca volviendo a sus poblaciones más pobres como consecuencia de un riesgo mayor. Aun cuando se apliquen medidas de manejo sustentable para evitar la DT acelerada por la acción antrópica directa al ambiente, es posible que la degradación ambiental sea provocada por fuerzas más intensas, de una magnitud mayor y que suceden más frecuentemente con fuertes oscilaciones del clima.

El informe Oxfam (Oxford Committee for Famine Relief)³, publicado en el Reino Unido y elaborado por Catherine Pettengellen sostiene que el cambio climático está empujando de manera dramática y vertiginosa a las comunidades más pobres y marginalizadas más allá de su capacidad de respuesta y sus posibilidades de adaptación (Pettengell, 2010). Esta publicación se basa en estudios de caso de todo el mundo y en la experiencia adquirida por Oxfam en su trabajo con comunidades rurales, combinando la experiencia sobre el análisis de diferentes disciplinas desde la gestión de los recursos naturales, de los medios de vida y la reducción del riesgo de desastres para una toma de decisiones adecuadas que permita gestionar la incertidumbre y el riesgo, y de este modo desarrollar la capacidad de adaptación a escala familiar, nacional y global. El informe identifica la necesidad de combinar procesos desde lo global, lo nacional y lo local para crear las condiciones necesarias para que las personas que viven en la pobreza puedan adaptarse al cambio climático, y expone una serie de posibles medidas con esta finalidad.

Brooks y otros (2009), afirman que la planificación nacional debe prever un proceso participativo, eficaz y duradero para la planificación integrada, su puesta en marcha y seguimiento, en vez de una única consulta nacional que culmine en un documento estático.

Aunque, la adaptación al cambio climático es necesaria en todos los sectores y regiones, incluyendo la salud, educación, infraestructura y energía, el IFAD (Investing in Rural People)⁴, sostiene que los medios de vida en zonas rurales son particularmente vulnerables a los impactos del cambio climático dado que el 75% de las personas pobres viven en ellas. La adaptación de los medios de vida rurales debe responder a tres problemas principales causados por el cambio climático:

³ Una confederación internacional formada por 17 organizaciones no gubernamentales nacionales que realizan labores humanitarias en 90 países

⁴ Es una organización no gubernamental que se centra en el desarrollo rural,

- 1 El cambio climático en algunos casos socava la sostenibilidad de los medios de vida que actualmente dependen de la producción agropecuaria.
- 2 Pone aún más presión sobre los recursos naturales ya degradados. Ejemplos recientes se observan a continuación (Ver Figuras 9.24 a 9.32.):

Algunas muestras de estas realidades se expresan en la sequía del año 2016 que afectó a la Puna con la falta de agua. El 22 de noviembre de 2016 el gobierno de Bolivia declara la emergencia hídrica nacional por la peor escasez de agua desde 1980, como se muestra en infobae: <https://www.infobae.com/america/fotos/2016/11/22/fotos-emergencia-nacional-en-bolivia-sufre-la-peor-sequia-en-cuatro-decadas/>; o el 23 de febrero de 2018 las Salinas Grandes, ubicadas a unos 130 kilómetros de San Salvador de Jujuy a más de 3400 metros sobre el nivel del mar. se inundaron. Las intensas lluvias convirtieron el ya deslumbrante paisaje en un atractivo turístico sin igual, convirtiendo a las Salinas Grandes en un espejo de agua de más de 220 kilómetros cuadrados de extensión, en donde el cielo se funde con la tierra; impactantes caídas de granizo 10 de febrero ó el 23 de agosto de 2002, 3 de marzo y 6 de octubre 2018 en La Quiaca. Como se observa La Quiaca en esta película <https://www.youtube.com/watch?v=lzHZFSIPoSE> y en Abra Pampa <https://www.facebook.com/diariosomosjujuy/videos/graniz%C3%B3-en-abra-pampa-1896577840634205/>; La fuerte granizada el 24 de febrero de 2018 en Abra Pampa y el 28 de noviembre documentada por <https://www.eltribuno.com/jujuy/nota/2018-11-28-20-44-0-abra-pampa-fue-sorprendida-con-la-caida-de-granizo> cada vez mas frecuentes e intensas. Su tamaño fue enorme como se describe en El Tribuno: "Se verificó la intensidad que tuvo la mortandad, la posible causa y se constató que los flamencos muertos presentaban lesiones en la cabeza y en la espalda que eran compatibles con una granizada", afirmó Monguillot y explicó que se estiman que se trató de entre 90 y 100 muertes. Aclaró que "este tipo de eventos climáticos ocurren. Por lo general el granizo que cae en la zona de la laguna es pequeño entonces por eso no genera mayores daños, pero cuando ocurren caídas de granizos más grandes pueden generar este tipo de daños". De hecho, explicó que esa granizada también mató a ovejas, porque fueron de gran tamaño. La identificación y conteo de las 77 muertes de flamencos en el monumento natural "Laguna de Pozuelos" fue realizada por personal de PN y confirmado por el intendente Marcelo Valverde de PN. <https://www.eltribuno.com/jujuy/nota/2018-12-21-20-4-0-los-flamencos-de-pozuelos-murieron-por-el-granizo>. ver Figuras 9.24 a 9.32.

3 Además, el cambio climático está aumentando las amenazas que pueden provocar desastres asociados al clima (Oxfam, 2010). Ejemplos de ello son los deslizamientos de tierra sufridos por los pobladores de las localidades de El Volcán y Tilcara en la Quebrada de Humahuaca durante el verano en el año 2017, y las calles inundadas e intransitables el 14 de enero de 2020 en Abra Pampa. Ver Figuras 9.24 a 9.32.



Figura 9.24. Acumulación de sedimentos en una casa después de la tormenta de polvo.

Fuente: [.https://www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-150074-2010-07-24.html](https://www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-150074-2010-07-24.html). 24 de julio de 2010 Fuente: Página 12.

<https://www.tribuno.com/grave-sequia-la-puna-jujuna-n708315> 3 DE MAYO 2016 - 17:26 Fuente: El Tribuno.

<https://www.telam.com.ar/notas/201604/141860-comunidades-originarias-jujuy-gobierno-provincial-reunion-pedido-asistencia-sequia.html>

03/04/2016 JUJUY Fuente: Telam.



Figura 9.24. Laguna de los Pozuelos totalmente seca.

<https://www.tribuno.com/jujuy/nota/2016-7-9-1-30-0-la-laguna-de-pozuelos-victima-de-la-gran-sequia>

<https://www.tribuno.com/jujuy/nota/2017-2-14-1-30-0-preocupa-falta-de-lluvia-en-gran-parte-de-la-puna-sequia-en-la-puna-abra-pampa>

Fuente: El Tribuno.



Figura 9.25. Fuerte granizada en febrero de 2018.

<https://www.tribuno.com/jujuy/nota/2018-2-24-18-49-0-parece-una-nevada-en-pleno-verano-mira-donde-cayo-una-gran-cantidad-de-granizos>. Fuente: El Tribuno.



Figura 9.26. Fuerte granizada en febrero de 2018.

<https://www.somosjujuy.com.ar/vecinos/476-fuerte-granizo-dejo-inundadas-las-calles-de-la-quiaca> 2 de marzo de 2018. Fuente: Somos Jujuy.



Figura 9.27. Inundaciones de las Salinas Grandes 20 febrero, 2018 7:16 am.

<https://youtu.be/FwMNSHQx5ME> Fuente: El Tribuno



Figura 9.28. Muerte de flamencos por fuerte granizada en diciembre de 2018.
<https://www.tribuno.com/jujuy/nota/2018-12-21-20-4-0-los-flamencos-de-pozuelos-murieron-por-el-granizo> Fuente: El Tribuno
<https://www.infozona.com.ar/gran-nube-de-polvo-cubrio-varias-ciudades-de-argentina/> 28 diciembre 2019. Fuente: Infozona.
<https://www.unotv.com/noticias/porta/internacional/detalle/video-sorprende-nube-de-polvo-y-arena-que-cubrio-varias-ciudades-en-argentina-459124/>
Dec 27, 2019 12:49. Fuente: Uno TV.



Figura 9.29. Foto del alud de barro en Volcan.16 enero 2017 Fuente: Página 12.



Figura 9.30.a. Esquema del alud de barro en Volcan.16 enero 2017
<http://www.laizquierdadiario.com/Alud-en-la-Quebrada-de-Humahuaca-Volcan-un-pueblo-que-se-resiste-a-desaparecer>
Fuente: La izquierda diario.



Figura 9.30.b. Rotura de ruta por el alud de barro.
<https://www.lanacion.com.ar/sociedad/volcan-el-pueblo-que-busca-renacer-luego-de-un-tragico-alud-nid1990242/> Fuente: La Nación.





Figura 9.31. Pérdidas y daños de bienes de los pobladores por el alud de barro en Tilcara. Fuente: Telam 10/03/2017.

<https://www.telam.com.ar/notas/201703/182036-cortes-de-rutas-y-mas-de-20-evacuados-por-un-temporal-en-jujuy.html>



Figura 9.32a. Inundaciones por fuertes tormentas en Abra Pampa. <https://www.eltribuno.com/jujuy/nota/2020-1-15-1-0-0-fuerte-temporal-en-abra-pampa>

Fuente: El Tribuno



Figura 9.32.b. Evacuación de familias por fuertes tormentas en Abra Pampa. <https://www.todojujuy.com/jujuy/inundacion-abra-pampa-evacuaron-mas-30-familias-y-se-preparan-para-recibir-mas-lluvias-n130261>

El 24 de julio de 2020 la empresa de energía eléctrica Ejesa comunicó que por el fuerte temporal de viento zonda que acota la zona de la Quebrada de Humahuaca,

con ráfagas que alcanzan los 100 km/h que esta causando graves daños de distribución. Es por ello que las localidades de Purmamarca, Abra Pampa, La Quiaca y los pueblos de Aguas Calientes, Cocha Santa Ana, Tusaquillas, Sausalito, Alfarcito, Rinconadillas, San Bartolomé Barrancas dentro del departamento Susques se encuentran sin servicio eléctrico. Estos vientos transportan importantes cantidades de cenizas y daños. <https://www.eltribuno.com/jujuy/nota/2020-7-24-17-12-parte-de-la-quebrada-y-puna-sin-servicio-de-luz-electrica>.

ok..pero no me queda claro...el sistema de alerta temprana se da para eventos puntuales. en este caso se estudió la Eh y Ee que son procesos mas a corto y mediano plazo..que si bien son intensificados por eventos mas puntuales el sistema de alerta temprana tendria que tener otro tipo de características.

En la región **no existe** la previsión de riesgos. Si bien, los pastoreos en campos comuneros mantienen un adecuado uso de los recursos naturales, se requiere un sistema de alerta temprano que permita coordinar acciones entre el estado nacional, la provincia y los municipios.

Que seria una prevision de riesgos???

Actualmente se están generando cambios en una peculiar combinación de un modo de vida que mira hacia lo urbano/sedentario, con un modo de vida de características esencialmente trashumantes. Los pastores han ido recreando, voluntaria o involuntariamente, la dinámica de la trashumancia pastoril influidos y afectados por las instituciones estatales y sectores del mercado capitalista (Abeledo, 2014).

estas serán problemáticas ambientales...

Así es, que en un futuro próximo se podrían generar conflictos y disputas entre los productores ganaderos, arrendatarios y pastores sedentarios con comuneros trashumantes tradicionales provenientes de las comunidades originales. Además, la producción ganadera requiere de agua y está compitiendo en su consumo con la minería y en especial con el avance de la explotación del litio, lo que puede generar disputas por este bien tan importante en esta región.

¿Cómo se vincula la gestión del riesgo a la dinámica del clima? En la actualidad, los eventos físico naturales que son recurrentes en el tiempo y que se relacionan con variaciones normales del sistema climático, se convierten en una peligrosidad cuyos impactos en las poblaciones pueden producir catástrofes. Esto requiere la elaboración de planes, y llevar adelante acciones en el corto, mediano y largo plazo para dar respuesta a estas situaciones. En el marco de oscilaciones climática su impacto en la DT, la población y sus bienes, la Gestión del Riesgo articula estrategias de adaptación frente a la variabilidad climática actual o a los cambios que puedan suceder en el futuro. Por lo tanto, la Gestión del Riesgo es una herramienta central de prevención, mitigación y recuperación para que los decisores políticos y la sociedad civil estén preparados a estos escenarios (Narváez y otros, 2009; UNISDR, 2015). En este sentido un modelo que permita el monitoreo de la DT debida a las oscilaciones climáticas demostrado en el capítulo 8 y que anticipe conflictos entre pobladores seria de mucha utilidad para los habitantes, los pastores y los tomadores de decisión a nivel privado y público.

En el caso de la adaptación al cambio futuro en el clima, la noción de la gestión prospectiva o anticipada puede ser aplicada (Lavell, 2011). La teleconexión entre el pronóstico del ENOS y la DT por EE y EH en la Puna como fue demostrado a través de los cap. 4, 5, 6, 7 y 8, permitirán anunciar una alerta temprana para los pobladores, que podrían regular sus cargas ganaderas. A la vez los funcionarios facilitarían en el momento adecuado la asistencia de agua y alimentos a los habitantes y la hacienda de los productores y de ese modo se protegería su capital principal, "la ganadería de

subsistencia”. Ambas acciones mitigan la DT y mantienen los medios de vida para la sustentabilidad del ambiente y la sostenibilidad de los pobladores.

En los departamentos de Cochino, Rinconada, Santa Catalina y Susques, los medios de vida, la infraestructura, la producción y el comercio, ya deficientes, serán afectados por el cambio de clima y sus oscilaciones principalmente provocadas por el ENOS. En el futuro requerirán de la intervención tanto “correctiva” como “prospectiva”. Todo depende, cuando se introducen las modificaciones para adecuarse al cambio previsto. Si se hace anticipadamente sería prospectiva y si se hace en el momento del cambio sería correctiva (Ibidem). Este estudio se focaliza en la prospección y un adelantamiento de las consecuencias que pueden acarrear las oscilaciones climáticas en la Puna.

Las comunidades de las zonas alto-andina y de la Puna desarrollaron un abanico de opciones de adaptación para alcanzar medios de vida y sistemas productivos. Por esto en esta región, las prácticas tradicionales de manejo de la tierra —que datan de tiempos prehispánicos— siguen siendo empleadas y resultan elementos clave para estas estrategias de adaptación y mitigación. Estas prácticas consisten, principalmente, en: manejo de agua y suelo (andenes y mini represas); uso de pisos altitudinales; rotación de cultivos y descanso de suelo. Estas han sido comprobadas como adecuadas para generar mayor resiliencia en las comunidades (Chilon Camacho, 2009).

Las tecnologías hidráulicas, inventadas por los antiguos peruanos, se mantienen vigentes, tales como los sistemas de qochas, ubicadas en las tierras de la Puna, por encima de los 3.850 msnm, son ejemplo de un sistema en pleno funcionamiento y producción, conformado por un conjunto de pequeñas lagunas artificiales que se alimentan de las aguas de lluvia, y unidas entre sí por canales que permite manejar el agua entre ellas. El agua se maneja dentro de cada qocha y es, a su vez, evacuada por los canales de unión de qocha en qocha, hasta eventualmente desembocar a un río o perderse en la pampa (Guzmán Hennessey, 2012).

La cosecha de agua que se han llevado a cabo en sectores semiáridos altoandinos en la Puna seca de Argentina, Bolivia, Chile y Perú, ha mejorado el hábitat y la crianza de camélidos sudamericanos domésticos mitigando los efectos del cambio climático (Llosa Larrabure y otros, 2009). Estas intervenciones deben ejecutarse de forma prospectiva conociendo cuando puede aumentar la probabilidad de la presencia de los fenómenos climáticos extremos.

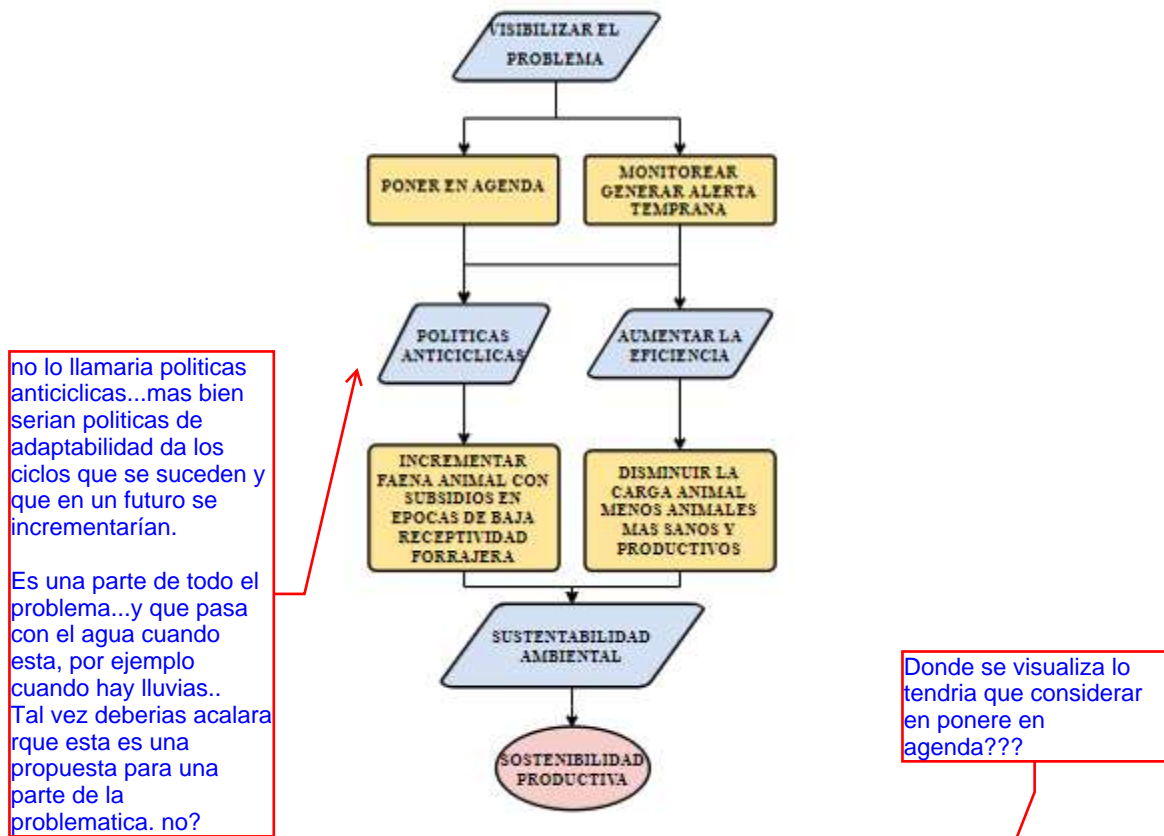


Figura 9.33. Propuesta para los tomadores de decisión y respuesta al avance de la desertificación causada por las oscilaciones climáticas. Elaboración propia.

Finalmente se puede decir que es posible desarrollar una alerta temprana mediante los índices del fenómeno ENOS que permitan anticipar las decisiones políticas para evitar daños mayores como la erosión y la pérdida de productividad de estas tierras adelantándose con medidas anticíclicas para la supervivencia de los pobladores (ver Figura 9.33.). En esta Figura se muestra un circuito para visibilizar la DT a través de talleres participativos, comprometiéndolo y empoderando a los habitantes y las ONG. Se pretende lograr que los tomadores de decisiones pongan en agenda esta problemática. Además, se propone algunas soluciones, al mismo tiempo se necesita monitorear como se propone en los capítulos 9 y 10. El gobierno puede aplicar políticas anticíclicas, durante las sequías: faenas para disminuir la carga animal y subsidios a los productores para la compra de forrajes. Por otra parte, lo importante es seleccionar sus mejores animales en la producción de carne y fibra, evitando que otros animales improductivos consuman los pastizales como los burros salvajes que quedaron dispersados desde la época del Marqués de Tojo quien los producía para venderlos a las minas de Potosí. Estas propuestas favorecen la sustentabilidad ambiental y si se suma propuestas como las construcciones de qochas para la colecta de agua se logrará la sustentabilidad económica y la mejora de la calidad de vida. Es posible desarrollar una propuesta de alerta como se muestra en la Puna de Catamarca donde según la fase del ENOS meses antes es posible anticipar las consecuencias en la producción de las estepas (Maggi y otros 2020).

y esto no tendría que ir acompañado por por ejemplo la extensión agropecuaria??? existe??? se esta haciendo algo??? o no?

9.6 Conclusiones del capítulo 9

En síntesis, se pudo demostrar la mayor incidencia de los indicadores de erosividad del viento y de la lluvia y del incremento de la erosión en cada fase del fenómeno de El Niño en las distintas localidades de la Puna jujeña. Además, demostró su incidencia en el crecimiento y disminución de las lagunas y en los cambios de producción de biomasa y cobertura vegetal. Se pudo identificar cuáles son las localidades y poblaciones que están más amenazadas por distintos procesos de erosión de suelos con su grado de gravedad y durante qué eventos aumenta su incidencia. A través de índices como el de las necesidades básicas insatisfechas de los hogares, e indicadores como el analfabetismo y la desocupación se puede visualizar la vulnerabilidad de toda esta región. En particular, ello se observa en algunos de los departamentos que se encuentran más al oeste, los que presentan una mayor fragilidad de las tierras asociada a la vulnerabilidad de cada una de esas localidades y departamentos como Susques, Rinconada y Santa Catalina.

Sin embargo, vemos que los departamentos que contienen una gran cantidad de habitantes igualmente presentan una alta vulnerabilidad ya que reciben a los habitantes que migran de otras tierras de la Puna con menor calidad de vida.

Por otra parte, el departamento de Cochinocha posee un nivel de desocupación elevado donde se ubica la localidad de Abra Pampa cuya población es la segunda más importante en la región después de La Quiaca que posee una condición social aparentemente mejor Figura 9.11. A ello hay que agregar que se dan ambas situaciones: la EE y la EH, es decir, que aumentan con la alternancia de las fases La Niña y El Niño, y que pueden ser catastrófica para ese departamento. Finalmente, si se cumplen las predicciones de cambio climático se va a incrementar la frecuencia de la fase El Niño. La consecuencia será un aumento de la EE y la sequía en toda la región provocando la desertificación.

9.7. Síntesis de avances, logros y alcances de la tesis

- El clima posee cambios anuales, interanuales y sufre oscilaciones climáticas como la TCP. Estas variaciones condicionan el crecimiento de la vegetación y la disponibilidad hídrica y la DT con su impacto en las poblaciones.
- Se confirmó la hipótesis de la existencia de la transición climática del Pacífico (TCP) en la década del 70 en el Noroeste argentino y, en particular, en la Puna de Jujuy. A partir de una serie larga de precipitaciones de las principales estaciones meteorológicas se demostró la transición climática del Pacífico en el Noroeste argentino a partir del 1976, del mismo modo que en el centro del país hay un incremento significativo en el monto de la precipitación media anual.
- Se diseñó un índice de El Niño ajustado para la Puna de Jujuy. Se demostró la relación de la precipitación vs El Niño antes y después de la transición climática del Pacífico (TCP) en la Puna. Se confirmó la hipótesis de la incidencia del fenómeno ENOS sobre las precipitaciones en la Puna. Se demuestra que ocurren menores precipitaciones durante la mayoría de los años El Niño

- Se pusieron a prueba índices ponderados por la precipitación para identificar y determinar las fases del ENOS en la Puna de Jujuy. Se logró el ajuste con la precipitación de la estación lluviosa.
- Se demostró que existe una relación entre la ponderación de la precipitación de períodos lluviosos del año anterior y el último periodo monzónico con la extensión de la superficie de la Laguna de los Pozuelos (indicador biofísico) y su relación con El ENOS después de la TCP.
- Se demostró las relaciones de las precipitaciones y el NDVI de MODIS (indicador biofísico) y su relación con El ENOS después de la TCP en la Puna.
- Se probó que existe un atraso de un mes a un mes y medio entre las precipitaciones y el NDVI. Se probó la relación entre el NDVI de MODIS y la cobertura vegetal de las principales estepas arbustivas, gramíneas y mixtas de la Puna. Se desarrollaron funciones y ecuaciones para distintas estepas arbustivas y herbáceas.
- Se obtuvieron los valores de los índices de agresividad por lluvias y viento para erosión hídrica y erosión eólica a partir de una serie, 16 años, larga de datos meteorológicos. Se demostró la relación entre la precipitación (PP) y la erosividad "R" para la EH (indicador biofísico) y su relación con El ENOS después de la TCP en la Puna. Se probó la relación de los índices WF y C para erosividad de la EE (indicador biofísico) y su relación con El ENOS después de la TCP en la Puna. Se verificaron valores menores erosividad por erosión hídrica y mayor fuerza de la erosión por el viento durante los años con fase El Niño.
- Se elaboró cartografía, obteniendo mapas a partir de los modelos USLE y RWEQ para las distintas fases de El ENOS en la Puna de Jujuy.
- Se realizó un análisis temporal y espacial de la degradación de las tierras por erosión de suelos (EH y EE) en la Puna, asociado al ENOS se relacionó con la Cartografía de indicadores socioeconómicos 2010 proveniente del INDEC.
- Se identificaron las principales comunidades y localidades amenazadas por la degradación de las tierras en las distintas fases del ENOS. Estos resultados se vincularon con la vulnerabilidad de sus poblaciones, obtenida mediante indicadores de INDEC.
- Se demuestra que la relación de WF y C erosividad EE (indicador biofísico) vs ENOS después de la TCP en la Puna, produce incremento de la degradación de las tierras. Los pronósticos de cambio climático prevén un aumento de temperatura en el Noroeste argentino. Además, pronostican un aumento de la frecuencia de los fenómenos El Niño que como he demostrado provocan aumento de la erosión eólica, disminución de la cobertura vegetal, de la productividad primaria neta aérea, de la producción de forrajes y de la disponibilidad de agua y de la producción animal y la pérdida de la calidad de vida de los pobladores y sus medios de vida lo que requerirá más asistencia de gobierno nacional, de lo expresado en el Capítulo 9. Por lo tanto, si disminuye los ingresos familiares, entonces se degradan los servicios ecosistémicos de provisión de agua y disminuye la calidad de los medios de vida, aumenta la migración de la población joven y aumentan los conflictos entre los pobladores.
- Se demostró una conexión causal entre las oscilaciones climáticas, en particular el fenómeno ENOS y la degradación de las tierras, la pérdida de tierras destinadas al pastoreo, los daños provocados por externalidades como

infraestructura y polución causados por erosión eólica y erosión hídrica. Se identificaron instrumentos para las predicciones de las diversas fases de El ENOS que pueden prevenir y mitigar las consecuencias sobre los medios de vida, los servicios eco sistémicos y la desertificación de la Puna jujeña.

- La aplicación y uso adecuado de imágenes satelitales y SIG en el estudio de los recursos naturales y el monitoreo de la degradación de las tierras fué apropiada en zonas extensas, inhóspitas y de difícil acceso como la Puna. La verosimilitud y calidad de los resultados obtenidos facilitó el desarrollo de esta investigación que colabora con la toma de decisiones. Esta tesis mejoró el conocimiento de las oscilaciones climáticas en la Puna de Jujuy, desarrolló nuevas ecuaciones y algoritmos ajustados para este territorio. También, se identificaron los procesos de degradación en territorio mediante recorridos en los cuales se aplicaron protocolos de muestreo. Facilito la investigación espacio temporal, identificando cuales son las áreas más frágiles que están amenazadas a la DT. El análisis de la información publicada en el censo de población 2010 por el INDEC permitió ubicar rápidamente las poblaciones más vulnerables en las áreas más amenazadas por erosión con sus variaciones provocadas por las oscilaciones climáticas.

A partir de estos resultados podrán plantearse nuevas hipótesis y objetivos que permitan profundizar y desarrollar análisis multidisciplinarios integradores de los datos socioeconómicos y biofísicos en los territorios más frágiles con población muy vulnerables. Frente al cambio climático y el futuro incremento de la temperatura en el NOA, ¿se podrá desarrollar un sistema de alerta temprano a las sequías y la erosión eólica durante El Niño para la Puna de Jujuy? ¿Cuál es la resiliencia de los pueblos y comunidades originales? La fragilidad ya existente en esta ecoregión ¿podrá soportar y responder a la degradación de las tierras y desertificación debido al aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos? ¿Se alcanzará la meta de la degradación neutral, la sustentabilidad y sostenibilidad? ¿Serán suficientes las buenas prácticas ancestrales y científicas para lograr un desarrollo regional que consiga el bienestar de la población?

Las investigaciones que sostienen la presente tesis pretenden brindar un aporte en la búsqueda de respuestas de estos interrogantes.

Bibliografía

- Abeledo, S. 2014. Pastoreo trashumante a comienzos de un nuevo siglo: su vigencia en Santa Rosa de los Pastos Grandes (departamento de Los Andes, Salta). *Andes*, 25(2).
- Aceituno, P., Montecinos, A., 1993. Stability analysis of the relationship between the Southern Oscillation and rainfall in South America. *Bull. Inst. Fr. Études Andines* 22, 53-64.
- Agosta, E.A., & Compagnucci, R.H., 2008. The 1976/77 austral summer climate transition effects on the atmospheric circulation and climate in southern South America. *J. Climate*, 21, 17, 4365-4383.
- Aimar, S. B. 2016. Calidad del material erosionado por el viento en suelos de Argentina.
- Alewell, C., Borelli, P., Meusburger, K., and Panagos, P. 2019. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modeling. *International soil and water conservation research*, 7(3): 203-225.
- Allmendinger, R.W.; T.E. Jordan; S.M. Kay and B.L. Isacks. 1997. The evolution of the altiplano-Puna plateau of the Central Andes. *Annual Review of Earth and Planetary Science* 25: 139-74.

- Ambrizzi, T., de Souza, E.B., & Pulwarty, R.S., 2004. The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on South American seasonal rainfall. In: *The Hadley circulation: present, past and future*. Springer Ed. Netherlands. págs. 203-235.
- Diaz, H.F., Hoerling, M.P. y Eischeid, J.K., 2001. ENSO variability, teleconnections and climate change. *Int. J. Climatol.*, 21, 1845–1862.
- Ambrizzi, T., de Souza, E.B., & Pulwarty, R.S., 2004. The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on South American seasonal rainfall. In: *The Hadley circulation: present, past and future*. Springer Ed. Netherlands. págs. 203-235.
- American Society of Photogrammetry, 1968.- *Manual of Photointerpretation*. - 2º Ed. R.N. Colwell, Am. Soc. of Photogram. Washington, USA
- Amiri, F., & Tabatabaie, T. 2010. Using remote sensing data for vegetation cover assessment in semi-arid rangeland of center province of Iran. *World Applied Sciences Journal*, 11(12), 1537-1546.
- Anyamba A., Tucker C.J., and Mahoney R. 2002. From El Niño to La Niña: Vegetation Response Patterns over East and Southern Africa during the 1997–2000 Period. *J. Climate*, 15: 3096–3103.
- Anyamba A. and Tucker C.J. 2005. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. *Journal of Arid Environments*, 63: 596–614.
- Arachchige, C. M. W., & Perera, G. S. 2018. Mapping Land Degradation In Nuwara Eliya District Using Multi-Temporal Satellite Images And Spectral Mixture Analysis Method. *Proceedings - 39th Asian Conference on Remote Sensing: Remote Sensing Enabling Prosperity*, ACRS 2018, 5, pp. 2701-2708.
- Ares, J., Del Valle, H., & Bisigato, A. 2003. Detection of process-related changes in plant patterns at extended spatial scales during early dryland desertification. *Global Change Biology*, 9 (11), 1643-1659.
- Arnoldus, H. M. 1978. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. En: De Boodst, M., y Gabriels, D., (eds.) *Assessment of erosion*:127-132. John Wiley y Sons, Inc. Chichester (Gran Bretaña).
- Aubault, H., Webb, N. P., Strong, C. L., McTainsh, G. H., Leys, J. F., & Scanlan, J. C. 2015. Grazing impacts on the susceptibility of rangelands to wind erosion: the effects of stocking rate, stocking strategy and land condition. *Aeolian Research*, 17, 89-99.
- Baldassini P., Volante J.N., Califano L.M. y Paruelo J.M. 2012. Caracterización regional de la estructura y de la productividad de la vegetación de la Puna mediante el uso de imágenes MODIS. *Ecología Austral*. Vol. 22: 22-32.
- Barenblatt, G. I. (1987). *Dimensional analysis*. CRC Press.
- Barenblatt, G. I., & Cole, J. D. (1981). Similarity, self-similarity and intermediate asymptotics.
- Barnston, A.G., Chelliah, M. and Goldenberg, S.B., 1997. Documentation of a highly ENSO-related SST region in the equatorial. *Pacific. Atmos. -Ocean*, 35, 367-383.
- Barrera, D. 1988. Análisis climático-estadístico de las estructuras temporales y espaciales de la precipitación diaria en meso-escala. Aplicación al filtrado y corrección de errores de observación". Tesis doctoral de la Universidad de Buenos Aires. Libro (Publicación electrónica):
http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsdl-282/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=tesis&d=Tesis_2128_Barrera.
- Barrera D.F. y Basualdo A.B., 2012. La precipitación media en la cuenca del río Iruya: Análisis basado en la topografía. *Revista de Geografía (San Juan)*. 15, 16-23.
- Barrera, D., y Maggi, A. 2018. Variability of precipitation in the Argentinian Altiplano. Incidence of the 1976/1977 climate transition and the ENSO phenomenon in Northwestern Argentina. *Meteorologica*, 431, 41-71.
- Barros, V., Doyle, M., González, M., Camilloni, I., Bejarán, R. y Caffera, R., 2002. Climate variability over subtropical South America and the South American Monsoon: a review. *Meteorologica*, 27, 1 y 2, 33-57.
- Barros, V. 2005. Assessments of impacts and adaptations to climate change (AIACC) El cambio climático en el Río de la Plata, Vicente Barros, Angel Menéndez, Gustavo Nagy eds.
- Batterbury, S. 2002. Responding to desertification at the national scale: Detection, explanation, and responses. In: *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* eds. J.F. Reynolds, and D.M. Stafford Smith Pp. 357-385. Dahlem Workshop Report 88, Dahlem University Press, Berlin.
- Baumgartel, A., Lukić, S., Belanović Simić, S., & Kadović, R. 2019. Identifying Areas Sensitive to Wind Erosion—A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia). *Applied Sciences*, 9(23), 5106.

- Beek, K.J., De Bie, K.A.J.M., Driessen, P.M. (Eds.), 1997. Geoinformation for sustainable land management. Special Congress Issue. ITC Journal 3/4, Enschede: 205-363.
- Behrends Kraemer, F., Chagas, C. I., Ibañez, L., Carfagno, P., & Vangeli, S. 2018. Rainfall erosivity analysis for San Pedro county (BS. AS.). *Rev. Ciencia del Suelo* 36(1):124-137.
- Ben-Dor E., Chabrillat S., Demattê J.A.M., Taylor G.R., Hill J., Whiting M.L. and. Sommer S. 2009. Using Imaging Spectroscopy to study soil properties *Remote Sensing of Environment*, 113 S38–S55.
- Bertiller M.B., Ares J.O. y Bisigator A.J. 2002. Multiscale Indicators of Land Degradation in the Patagonian Monte, Argentina. *Environmental Management*, Vol. 30 Issue 5, 704-715.
- Bianchi A.R. y Yáñez C.E. 1992. Las precipitaciones en el noroeste argentino. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, PROSIMA - NOA, Salta, Argentina.
- Bianchi, A.R., Yáñez, C.E., y Acuña, L.R. 2005. Base de datos mensuales de precipitaciones del Noroeste Argentino. Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria. Proyecto Riesgo Agropecuario, Convenio Específico, (3), 41.
- Bianchi, R.; Yáñez C. y Acuña L. 2005. Proyecto Riesgo Agropecuario (Convenio Específico N° 3 al Convenio N° 141 INTA-SAGPYA) 41pp.
- Bianchi, A.R; Cravero, S.A.C. 2010. Atlas climático digital de la República Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: Salta, Argentina, 2010.
- Blanco Chávez M.E. 2019. Factor erosividad de la lluvia en la subcuenca sur del Lago Xolotlán, Managua. *Nexo Revista Científica*. Vol. 32, 01: 41-51.
- Blanco P.D., Metternicht G.I., del Valle H.F. y Sione W. 2007. Assessment of TERRA-ASTER and RADARSAT imagery for discrimination of dunes in the Valdes peninsula: an object oriented approach. *Revista de Teledetección*, 28:87-96. ISSN: 1133-0953. 2007.
- Blumberg D.G. 1998. Remote sensing of desert dune forms by polarimetric synthetic aperture radar (SAR). *Remote Sensing of Environment*, 65: 204– 216.
- Bocero S., & Natenzon, C. 2007. La dimensión ambiental del territorio en América Latina: aportes para su discusión. Eds. Fernandez Caso, M. Victoria y Gurevich, Raquel. Geografía. Nuevos temas, nuevas preguntas. Un temario para su enseñanza. Buenos Aires: Editorial Biblos. Claves para la formación docente, 65-94.
- Borgnia, M., Maggi, A., Arriaga, M., Aued, B., Vilá, B. L., & Cassini, M. H. 2006. Vegetation characterization of Laguna Blanca (Catamarca, Argentina) biosphere reserve. *Ecología Austral*, 16(01), 029-045.
- Borgnia, M.; B.L. Vilá and M.H. Cassini. 2010. Foraging ecology of Vicuña, *Vicugna vicugna*, in dry Puna of Argentina. *Small Ruminant Research* 88: 44-53.
- Bouderbala, D., Souidi, Z., Donze, F., Chikhaoui, M., & Nehal, L. 2018. Mapping and monitoring soil erosion in a watershed in western Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(23), 744.
- Braun Wilke R.H.; Villafañe S. y Picchetti L. 1991. Plantas de interés ganadero de Jujuy y Salta. Noroeste Argentino. Jujuy, Argentina: Universidad Nacional de Jujuy.
- Braun Wilke, R.H. 2002. Estado de desertificación en la Puna Jujeña. *Revista Facultad de agronomía*. UNJU. Vol. 3. pág. 13-25. S.S. Jujuy.
- Braun Wilke R.H.; Picchetti L.; Guzmán G.; Villafañe B.S. y Luppo L. 2002. Producción ecológica en pastizales andinos de Jujuy. *Rev. del CIZAS*, vol.3-1.
- Breshears, D. D., Whicker, J. J., Johansen, M. P., & Pinder, J. E. 2003. Wind and water erosion and transport in semi-arid shrubland, grassland and forest ecosystems: Quantifying dominance of horizontal wind-driven transport. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 28(11), 1189-1209.
- Bribiesca Rodríguez M.Á., Aragón-Hernández J.L., Fuentes Mariles G.E. 2018. Estimación del factor de erosividad de lluvias "R" empleando dos métodos. XXV Congreso Nacional de Hidráulica México.
- Brooks, M. et ál., 2009. "Prioritizing Climate Change Risks and Actions on Adaptation: A Review of Selected Institutions, Tools, and Approaches", PRI Sustainable Development Discussion Paper, Ottawa: policy research Institute.
- Buitrago, L., 1999. El Clima de la Provincia de Jujuy. Ed. Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Jujuy- Ila. Edición.
- Buitrago, L. G., & Larran, M. T., 2000. El clima de la Provincia de Jujuy. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy.
- Burgos, J.J. 1963. Las heladas en la Argentina. Colección Científica del INTA. Vol. III. Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería de la Nación. Buenos Aires.

- Buschiazzo, D.E., Zobeck, T.M. y Aimar, S.B. 1999. Wind erosion in soils of the semiarid Argentinian Pampas. *Soil. Sci.* 164: 133-138.
- Buschiazzo, DE y SB Aimar. 2003. Erosión Eólica: Procesos y Predicción, Cap. 2. En: AD Golberg y AG Kin Eds.). *Viento, Suelo y Plantas*: Vol. 67. Ediciones INTA.160 pp.
- Cabrera, A.L. 1957. La vegetación de la Puna Argentina. *R.I.A.* 4:317-412. INTA, Argentina.
- Cabrera, A.L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 14 (1-2):1-42.
- Cabrera, A.L., 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, Tomo II Fs. 1. Ed. ACME. Bs. As. Argentina. 1-85 pp.
- Carlson T.N y Ripley D.A. 1997. On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover and Leaf Area Index. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 62: 241-252.
- Castro, H. y Zusman, P. 2009. Naturaleza y Cultura: ¿dualismo o hibridación? Una exploración por los estudios sobre riesgo y paisaje desde la Geografía. *Investigaciones geográficas*, (70), 135-153. *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* .70:135-153 ISSN 0188-4611.
- Cayan, D. R., Redmond, K. T., & Riddle, L. G. 1999. ENSO and hydrologic extremes in the western United States. *Journal of Climate*, 12(9), 2881-2893.
- Chávez, M. B. (2019). Factor erosividad de la lluvia en la subcuenca sur del lago Xolotlán, Managua. *Nexo Revista Científica*, 32(01), 41-51.
- Chepil, W. S., & Woodruff, N. P., 1963. The physics of wind erosion and its control. *In Advances in agronomy* (Vol. 15, pp. 211-302). Academic Press.
- Chilon Camacho, E. 2009. Tecnologías ancestrales y su vigencia frente al cambio climático. *CienciAgro* 1(4): 139-143.
- Chowdhury, M. R.; Barnston, A. G.; Guard, C.; Duncan, S.; Schroeder, T. A.; Chu, P. S. 2010 Sea-level variability and change in the US affiliated Pacific Islands: Understanding the high sea levels during 2006-2008. *Weather*. 65 (10)263-268
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero Gutiérrez, A., González, J., Reynero, M., Diez, A., ... & Degioanni, A. 2012. Erosión hídrica. Principios y técnicas de manejo. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. UniRío Editora.
- Compagnucci, R.H. y Agosta, E.A., 2008. La precipitación de verano en el centro-oeste de Argentina y los fenómenos interanual El Niño/Oscilación Sur (ENOS) e interdecádico "tipo" ENSO. *Geoacta* 33, 107-114.
- Cutter, S. 1996, "Vulnerability to environmental hazards", *Progress in Human Geography*, vol. 20(4):529-539.
- Dansereau, P. 1957. Biogeography: an international perspective. Ronald Press. New York.
- De La Casa, A., & Ovando, G., 2006. Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 35(1), 67-85.
- Del Valle H.F., Elissalde N.O., Gagliardini D.A. y Milovich J. 1998. Status of desertification in the Patagonian region: Assessment and mapping from satellite imagery, *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 12(2): 1-27.
- Del Valle, H. F., Blanco, P. D., Metternicht, G. I., & Zinck, J. A. 2010. Radar Remote Sensing of Wind-Driven Land Degradation Processes in Northeastern Patagonia. *Journal of Environmental Quality*, 39(1), 62-75.
- Dharumarajan, S., Lalitha, M., Hegde, R., Janani, N., Rajawat, A. S., Sastry, K. L. N., & Singh, S. K. 2018. Status of desertification in South India—assessment, mapping and change detection analysis. *Current Science*, 115(2), 331.
- Di Rienzo, J. A. 2009. InfoStat versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Diaz, H.F., Hoerling, M.P. y Eischeid, J.K., 2001. ENSO variability, teleconnections and climate change. *Int. J. of Climatology*., 21, 1845–1862.
- D'Odorico, P., Yoo, J. C., & Over, T. M. 2001. An assessment of ENSO-induced patterns of rainfall erosivity in the southwestern United States. *Journal of Climate*, 14(21), 4230-4242.
- Dollfus, O., 1981. El reto del espacio andino. <https://repositorio.iep.org.pe/handle/IEP/674>.
- Du, H., Dou, S., Deng, X., Xue, X., & Wang, T. 2016. Assessment of wind and water erosion risk in the watershed of the Ningxia-Inner Mongolia Reach of the Yellow River, China. *Ecological indicators*, 67, 117-131.
- Dumanski, J. (Ed.)., 1994. *Sustainable Land Management for the 21st Century: Workshop summary* (Vol. 1). Agricultural Institute of Canada.

- Dumanski, J., 1997. Criteria and indicators for land quality and sustainable land management. *ITC Journal* 3/4, Enschede, The Netherlands, pp. 216–222.
- Dumanski, J., Gameda, S., Pieri, C., 1998. Indicators of land quality and sustainable land management. An annotated bibliography. The World Bank, Washington, DC, 124 pp.
- Duniway, M. C., Pfenningwerth, A. A., Fick, S. E., Nauman, T. W., Belnap, J., & Barger, N. N. 2019. Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere*, 10(3), e02650.
- Dunkerley, D. 2010. Ecogeomorphology in the Australian drylands and the role of biota in mediating the effects of climate change on landscape processes and evolution. Geological Society, London, Special Publications, 346(1), 87-120.
- Earth System Research Laboratory (ESRI). [En línea]. Disponible en: <http://www.esri.noaa.gov/psd/data/climateindices>.
- Ebbesmeyer, C.C., Cayan, D.R., McLain, D.R., Nichols, F.H., Peterson, D.H. y Redmond, K.T., 1991. 1976 step in the Pacific climate: forty environmental changes between 1968-1975 and 1977-1984. Anales, Seventh Annual Pacific Climate (PACCLIM) Workshop, 10-13 Abril de 1990, Pacific Grove, California, EEUU, 115-126.
- Ebrahimi Khusfi, Z., Roustaei, F., Ebrahimi Khusfi, M., & Naghavi, S. 2019. Investigation of the relationship between dust storm index, climatic parameters, and normalized difference vegetation index using the ridge regression method in arid regions of Central Iran. *Arid Land Research and Management*, 1-25.
- Echenique, M., Chavez M. F., Vittar M.C. y Longoni A. 2014. La producción y comercialización de carne de la agricultura familiar en la Puna jujeña: Análisis de sistemas ganaderos, tramas comerciales y marcos normativos para el diseño de estrategias de desarrollo. INTA Ediciones. 118pp.
- Egusquiza Velasquez, K. L. 2019. Determinación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca alta del río Rímac, durante el Fenómeno El Niño 2016-2017.
- Ekhtesasi, M. R., & Sepehr, A. 2009. Investigation of wind erosion process for estimation, prevention, and control of DSS in Yazd–Ardakan plain. *Environmental monitoring and assessment*, 159(1-4), 267.
- Ekström, M., McTainsh, G. H., & Chappell, A. 2004. Australian dust storms: temporal trends and relationships with synoptic pressure distributions (1960–99). *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(12), 1581-1599.
- Eldridge, D. J., & Leys, J. F. 2003. Exploring some relationships between biological soil crusts, soil aggregation and wind erosion. *Journal of arid environments*, 53(4), 457-466.
- Eltaif, N. I., & Gharaibeh, M. A. 2011. Aplicación de un modelo matemático para predecir y reducción de la erosión eólica en tierras áridas no protegidas. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(SPE), 195-206.
- Ergueta, P. and Gómez E.H..1997. Directorio de Áreas Protegidas de Bolivia. Centro de Datos para la Conservación, La Paz, Bolivia. Kricher, J. 1997. A Neotropical Companion. Princeton University Press, Princeton.
- Escobar L.I., Ghermandi L., Grosfeld J.E. 2013. Efecto de clausuras de ganado sobre la vegetación en el Parque Nacional Laguna Blanca. *Universidades*, 5, 91-108. Augmdomus, Asociación de Universidades Grupo Montevideo ISSN:1852-2181
- Espez-Alsina C., Navone S.M. and Maggi A.E. 2002. Development of a desertification assessment method using a geographic information system: a case study in northwestern Argentina. *Management Information Systems 2002: Incorporating GIS and Remote Sensing (Management Information Systems, V. 4)-US-ISBN:1853129070 (Hard cover book) Publisher: WitPr/Computational Mechanics Published 2002/02 Baker&Taylor.*
- Ezcurra M. 2000. Sistema de información geográfica para la detección de la Erosión Eólica en la cuenca de la Laguna de Pozuelos. FAUBA.
- Fabricante, I., Oesterheld, M., & Paruelo, J. M. 2009. Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia. *Journal of arid environments*, 73(8), 745-753.
- FAO. 1977. Assessing soil degradation. *FAO Soils Bulletin*, 34: 1–83.
- FAO, PNUMA, UNESCO 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO, Rome.
- FAO/UNEP, 1984. Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification. Food and Agriculture Organization of the United Nations, United Nations Environmental Programme, Rome, 73Pp.

- FAO. 2005. Situación actual de los Camélidos sudamericanos en Argentina. Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos sudamericanos en la Región Andina TCP/RLA/2914. [En línea]. Disponible en: <http://faorlc.cgnet.com/es/ganaderia/pdf/2914bol.pdf>.
- FAO LADA 2011... Evaluación de la Desertificación en Argentina. Land Degradation Assessment in Drylands. Proyecto FAO/LADA – Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 481Pp. Ed. Gráfica Latina.
- Farrish, K. W.; Adams, J. C.; Thompson, C. V. 1993 Soil conservation practices on clear-cut forestland in Louisiana. *Journal of Soil and Water Conservation* (48) 136-139
- Fenta, A. A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Poesen, J., Tsubo, M., Borrelli, P., ... and Kawai, T. 2020. Land susceptibility to water and wind erosion risks in the East Africa region. *Science of The Total Environment*, 703, 135016.
- Fernández Long, M. E.; Hurtado, R.; Serio, L. 2008 Señales del ENOS sobre la región del Noroeste Argentina. XII Reunión Argentina de Agrometeorología
- Ferreira, L., Saulo, C. y Seluchi, M.E., 2010. Características de la Depresión del Noroeste Argentino en el período 1997-2003: Criterios de selección y análisis estadístico. *Meteorologica*, 35, 17-28.
- Ferro, V. 2010. Deducing the USLE mathematical structure by dimensional analysis and self-similarity theory. *Biosystems Engineering*, 106(2), 216-220.
- Foladori G. 2007. El pensamiento ambientalista. Anales de la educación común / Tercer siglo / año 3 / número 8 / Educación y ambiente / octubre de 2007. Publicación de la Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires, Dirección Provincial de Planeamiento. Versión digital del artículo publicado en pp. 42 a 46 de la edición en papel.
- Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA), Rural Poverty Reduction: IFAD's. Role and Focus, FIDA, 2005.
- Forni F., 1990. Proyecto de Investigación y Desarrollo. Organización laboral de comunidades marginadas involucradas en proyectos de ecodesarrollo. CEIL-CONICET, Buenos Aires.
- Fournier, F. 1960. Climatet érosion. Ed. Presses Universitaires de France. París.
- Fangmeier, D.D.; Elliot, W.J.; Workman, S.R.; Huffman, R.L. y G.O. Schwab. 2006. Soil and Water Conservation Engineering. 5ª Edición, Thomson Delmar Learning, 502 pp.
- Francou B. y Pizarro L. 1985. El Niño y la sequía en los altos Andes centrales (Perú y Bolivia). *Bulletin de l'Institut Francais d'Études Andines*, 14(1-2), 1-18.
- Frank, E. 2005. Situación actual de los Camélidos Sudamericanos en Argentina. Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina. Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina TCP/RLA/2914. (2005) Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación oficina regional para América Latina y El Caribe FAO/RLC.
- Fryrear, D.W.; Saleh A.; Bilbro J.D.; Schomberg H.M.; Stout J.E. and Zobeck T.M. 1998. Revised Wind Erosion Equation RWEQ Wind erosion and water Conservation Research Unit, USDA-ARS, Southern Plains Area Cropping Systems Research Laboratory. Technical Bulletin N° 1.
- Fryrear, D. W., Bilbro, J. D., Saleh, A., Schomberg, H., Stout, J. E., & Zobeck, T. M. 2000. RWEQ: Improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55(2), 183-189.
- Fryrear, D. W., Chen, W. N., and Lester, C. 2001. Revised wind erosion equation. *Annals of Arid Zone*, 40(3), 265-279.
- Funk R., Reuter H. I., Hoffmann C., Engel W. and Öttl, D. 2008. Effect of moisture on fine dust emission from tillage operations on agricultural soils. *Earth Surface Processes and Landforms* 33 (12): 1851-1863.
- Funtowicz, S.O., & Ravetz, J.R. 1993. Science for the post-normal age. *Futures*, 25(7), 739-755.
- Gaitan, J.J., Navarro, M.F., Tenti Vuegen, L.M., Pizarro, M.J., y Carfagno, P. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Ediciones INTA.
- Gan M.A., Kousky V.E., Ropelewski C.F., 2004. The South América Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. *J. Climate*, 17: 47–66.
- García García M. 2004. Respuesta de la vegetación a variaciones climáticas en las praderas y sistemas adehesados mediterráneos. Metodología de análisis utilizando datos hiperespectrales y multiespectrales. *Ecosistemas* 13 (2): 103-107.
- García, R. 2006. Conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Sistemas complejos. Barcelona, España: Gedisa.

- Garreaud, R.D., 1999. Multiscale analysis of the summertime precipitation over the central Andes. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 901–921.
- Garreaud, R., & Aceituno, P. 2001. Interannual rainfall variability over the South American Altiplano. *Journal of Climate*, 14(12), 2779-2789.
- Garreaud, R.D. y Seluchi, M., 2001. Pronóstico de la convección en el Altiplano Sudamericano: Empleo del modelo regional ETA/CPTEC. *Meteorologica*, 26, 1, 25-38.
- Garreaud, R.D., Vuille, M., Compagnucci, R.H. y Marengo, J., 2009. Present-day South American climate, Paleogeogr. Palaeoclimatol. *Palaeoecol.*, 281, 3-4, 180-195.
- Gershunov, A., & Barnett, T. P. 1998. ENSO influence on intraseasonal extreme rainfall and temperature frequencies in the contiguous United States: Observations and model results. *Journal of Climate*, 11(7), 1575-1586.
- GERSolar. Grupo de Estudios de la Radiación Solar de la Universidad de Luján. Disponible en: <http://www.gersol.unlu.edu.ar/>. Consultado por última vez: 12/06/2019.
- Gill T. E., Zobeck T. M., Stout J. E. 2006. Technologies for laboratory generation of dust from geological materials. *Journal of Hazardous Materials* 132: 1-13.
- Gitas, I. Z.; Douras, K.; Minakou, C.; Silleos, G. N.; Karydas, C. G. 2009 Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model EARS eLe Proceedings 15 (1)40-52
- Goldberg, A., & Kin, A. G., 2003. Viento, Suelo y Plantas. Ediciones INTA. Anguil, La Pampa, Argentina, 1.
- Golluscio R.A., Bottaro H., Rodano D., Garbulsky M., Bobadilla S., Buratovich O. y Villa M. 2009. Divergencias en la estimación de receptividad ganadera en el noroeste de la Patagonia: diferencias conceptuales y consecuencias prácticas. *Ecología Austral*. Vol. 19: 3-18.
- González M. y Barros V., 1998. The relation between tropical convection in South América and the end of the dry period in subtropical Argentina. *Int. J. Climatol.*, 18, 1669-1685.
- Griggs, D. J., and Noguer, M. 2002. Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *Weather*, 57(8), 267-269.
- Guanca, A. 2010. Determinación de la Erosión Hídrica de los Suelos de la Cuenca del Río Pilcomayo-Salta, Aplicando el USLE. Tesis de licenciatura, Facultad de ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Argentina.
- Guzmán Hennessey, M. 2012. Cambio climático, cambio civilizatorio: aproximaciones teóricas. Editorial Universidad del Rosario.pp 21-22.
- Harrison K. 2000. Role of increased marine silica input on paleo-pCO₂. *Paleoceanography* 15 (3): 292-298.
- Herrmann S.M., Anyamba A., Tucker C.J. 2005 a. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Global Environmental Change*, 15: 394–404.
- Herrmann S.M., Hutchinson C.F. 2005 b. The changing contexts of the desertification debate. *Journal of arid environments*, 63, 538-555.
- Hoffmann J.A.J. 1971. La distribución geográfica de las precipitaciones en el noroeste argentino. *Meteorologica*, 2: 230-343.
- Holling, C.S., Gunderson, L.H. and Ludwig, D. 2002. In quest of a theory of adaptive change. In: *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, ed. L.H. Gunderson and C.S. Holling, Pp. 3-22. Washington, D.C.: Island Press.
- Huang, H.P., Seager, R. and Kushnir, Y., 2005. The 1976/77 transition in precipitation over the Americas and the influence of tropical sea surface temperature. *Clim. Dyn.*, 24, 7, 721-740.
- Huber, S., & Fensholt, R. 2011. Analysis of teleconnections between AVHRR-based sea surface temperature and vegetation productivity in the semi-arid Sahel. *Remote sensing of environment*, 115(12), 3276-3285.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., and Ferreira, L. G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213.
- Hurni, H. 2000, Assessing sustainable land management (SLM). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 81: 83-92.
- Huszar P. C. and Piper S. L. 1986. Estimating the off-site costs of wind erosion in New Mexico. *Journal of Soil and Water Conservation* 41 (6): 414-416.
- Igarzábal Antonio, 1978. La Laguna de Pozuelos y su Ambiente Salino (Dpto. de Rinconada, provincia de Jujuy). *Acta Geológica Lilloana*, Volumen XV – Pag. 81-103.

- INTA 2009. Adecuación a un Sistema de Información Geográfica del estudio Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy), Nadir A. - Chafatinos T. 1990^o elaborado por INTA y la Universidad Nacional de Salta en 2009.
- Iriondo, J. I., Pannunzio A., Borello, L. 2013. Algunos factores ambientales que determinan la sedimentación del embalse del dique La Falda, Córdoba, Argentina. Tesina de Lic. Ambiental FAUBA.
- Irurtia, C. B., Cruzate, G., & Gasparia, F. J. 2007. Aplicación de la USLE en la provincia de Buenos Aires para establecer tasas de erosión hídrica.
- Izquierdo, Andrea; Navarro, Carlos J.; Aragón, Roxana y Casagrande, Elvira: Humedales de la Puna: Principales proveedores de servicios ecosistémicos de la región – Noviembre 2018.
- Jacques-Coper, M., & Garreaud, R.D., 2015. Characterization of the 1970s climate shift in South America. *Int. J. of Climatol.* 35, 2164-2179.
- Kandakji, T., Gill, T. E., & Lee, J. A. 2020. Identifying and characterizing dust point sources in the southwestern United States using remote sensing and GIS. *Geomorphology*, 107019.
- Kotwicki, V. and Allan, R. 1998. La Niña de Australia– contemporary and palaeo-hydrology of Lake Eyre. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 144: 265-180.
- Baldassini, P. (2010). Caracterización fisionómica y funcional de la vegetación de la Puna mediante el uso de sensores remotos. 81 - 82.
- LADA_FAO 2011. Evaluación de la Desertificación en Argentina. Land Degradation Assessment in Drylands. Proyecto FAO/LADA – Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 481Pp. Ed. Gráfica Latina.
- LADA_FAO. 2010. Manual de Evaluación Local Degradación de Tierras Áridas (LADA-L) Versión adaptada para el Curso de Capacitación LADA Argentina mayo 2010 <https://studylib.es/doc/7658966/manual-evaluacion-local--lada-argentina-mayo-2010>.
- Lal, R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International* 29 (4):437-450.
- Lamas H. 2007. Desarrollo del encadenamiento productivo de la llama en la provincia de Jujuy, República Argentina. Comisión Económica América Latina y el Caribe (CEPAL). 172pp.
- Lau, K.M. y Zhou, J., 2003. Anomalies of the South American summer monsoon associated with the 1997-1999 ENSO. *Int. J. Climatol.*, 23, 529-539.
- Lavell, A. 2011. Desempacando la adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo: Buscando las relaciones y diferencias: Una crítica y construcción conceptual y epistemológica. Secretaría General de la FLACSO y La Red para el Estudio Social de la Prevención de Desastres en América Latina. Elaborado en el marco del Proyecto UICN-FLACSO sobre Gestión del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático.
- Lenters, J.D. y Cook, K.H., 1997. On the Origin of the Bolivian High and Related Circulation Features of the South American Climate. *J. Atmos. Sci.*, 54, 656-678.
- Li, S., Yan, C., Wang, T., & Du, H. 2019. Monitoring grassland reclamation in the Mu Us Desert using remote sensing from 2010 to 2015. *Environmental Earth Sciences*, 78(10), 311.
- Lichtenstein, E.R. 1980. La depresión del Noroeste Argentino. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, 120págs. <https://www.digital.bl.fcen.uba.ar>.
- Lingard J. J. N., Tomlin A. S., Clarke A. G., Healey K., Hay A. and Wild C.P. 2005. A study of trace metal concentration of urban airborne particulate matter and its role in free radical activity as measured by plasmid strand break assay. *Atmospheric Environment* 39: 2377-2384.
- Llosa Larrabure, J., Pajares Garay, E., & Toro Quinto, O. 2009. Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas: reflexión, denuncia y propuesta desde los Andes.
- Lyu, X. (2019, July). Spatial Analysis of Soil Erosion Based On Satellite Remote Sensing: A Case Study from Youyang County Of China. In *IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 3495-3498). IEEE.
- Maccagno P. 2004. Indicadores socioeconómicos de desertificación en la región de la Puna. En *Teledetección Aplicada a la Problemática ambiental Argentina*. Centro de Investigación y Aplicación a la Teledetección de la FAUBA. Pp. 31-40. Editor EFA.
- Maccarini, G. D., Baleani, O., Cruzate, G., Puentes, M. I., Chiavetta, C., Aliaga, F., ... & Viale, J. C. 1995. Atlas de suelos de la República Argentina. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)-Aeroterra SA, Convenio de vinculación tecnológica, Fundación ArgenINTA. Soporte digital.

- McBride, J. and N. Nicholls, 1983: Seasonal relationships between Australian rainfall and the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 111(10), 1998-2004.
- McConnell, J. R., Aristarain, A. J., Banta, J. R., Edwards, P. R., & Simões, J. C. 2007. 20th-Century doubling in dust archived in an Antarctic Peninsula ice core parallels climate change and desertification in South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(14), 5743-5748.
- McTainsh, G. H., Lynch, A. W., & Tews, E. K. 1998. Climatic controls upon dust storm occurrence in eastern Australia. *Journal of Arid Environments*, 39(3), 457-466.
- Maggi, A. 2002. Una propuesta para predecir el factor de erosividad "R" para el centro y norte de la Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía UBA*, 22, 133-138.
- Maggi A., Navone S., Bargiela M. e Introcaso, R. 2005. Monitoring The Global Change Detection Using Landforms and Landsat 5 TM. International Geographical Union. Proceedings of Environmental Change and Rational Water Use. Page 76. Publicada En: Environmental Change and Rational Water Proceedings- Orientación Grafica Editora- 1ª Ed- Buenos Aires. Argentina. 160 P. 2005. ISBN 987-9260-37-6.
- Maggi A.E., Navone S.M. y Kindgard F.A. 2009. Monitoreo de los cambios en el comportamiento de algunas lagunas debido a la oscilación climática utilizando imágenes satelitales en la Puna jujeña. "La tecnología satelital de observación de la tierra en la evaluación, monitoreo y manejo de desastres naturales en la agricultura. Retos y perspectivas", 1a ed., Buenos Aires: Ediciones INTA, 2009, Pp. 108-119. ISBN 978-9-871623-05-1.
- Maggi A.E., Navone S. y Kindgard F.A. 2010. Monitoreo de los cambios en el comportamiento de algunas lagunas debido a la oscilación climática utilizando imágenes satelitales en la Puna jujeña. Edición Especial de la *Revista SELPER*, Vol. 2: 34-45.
- Maggi A.E., Di Ferdinando M. y Cucco A. 2011. Variaciones de la respuesta del NDVI en algunas comunidades vegetales y su relación con los cambios hidrológicos de la laguna de Pozuelos causadas por el fenómeno ENSO. I Seminario Taller Nacional de Cartografía Digital AACCS, Villa de Merlo, San Luis."
- Maggi A.E., Di Ferdinando, M.A., Cucco, A. y Movia, C.P. 2011. El efecto de la variación climática sobre la respuesta del NDVI en la Puna Jujeña. Trabajo presentado en las III Jornadas del Programa Interdisciplinario de la UBA sobre Cambio Climático (PIUBACC): "Cambio Climático: el desafío ambiental del siglo XXI" realizado en la Facultad de Derecho (UBA), Buenos Aires, 10 y 11 de noviembre de 2011.
- Maggi, A. y Di Ferdinando, M., 2012. Efectos del fenómeno ENOS en la respuesta de NDVI de la estepa arbustiva de *Parastrephia* sp. de la Laguna de Pozuelos, usando imágenes MODIS. Congreso Argentino de Teledetección, Córdoba, Octubre 2012.
- Maggi, A.E., Di Ferdinando, M. y Barrera, D.F., 2015. Influencia del fenómeno ENOS sobre la productividad vegetal en dos comunidades vegetales de la Puna Argentina. Actas del XII Congreso Nacional de Meteorología CONGREGMET XII. Mar del Plata, Argentina, 26-29 de mayo de 2015.
- Maggi, A., Bargiela, M., Introcaso, R., Bosio, M, y Jeffrey T. 2017 Informe del sitio piloto Puna 2014-2017, Observatorio Nacional de la Degradación de las Tierras y Desertificación. Inédito.
- Maggi A.E. and Ponienman K., 2018. Changes in Vegetal Cover, Precipitations and Land Degradation in Puna Region, Argentina. *Modern Environmental Science and Engineering* Volume 4, No. 7, pp. 638-643 (ISSN 2333-2581), Doi: 10.15341/mese (2333-2581)/07.04.2018/007 Academic Star Publishing Company, academicstar.us
- Maggi, A. E., Ponienman, K. D., Castro, N. G., & Di Ferdinando, M. 2020. Dinámica del NDVI en distintas fases del fenómeno ENSO en la Reserva de Biósfera Laguna Blanca (Catamarca, Argentina). *Ecología Austral*, 30(1), 151-164.
- Manins, P., Allan, R., Beer, T., Fraser, P., Holper, P., Suppiah, R., & Walsh, K. 2001. Atmosphere, Australia state of the environment report 2001 (theme report). Canberra: CSIRO Publishing on behalf of the Department of the Environment and Heritage.
- Manzano, M. G., & Návar, J. 2000. Processes of desertification by goats overgrazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in north-eastern Mexico. *Journal of Arid Environments*, 44(1), 1-17.
- Marlenko N. 1988. Evaluación de recursos naturales mediante la teledetección Buenos Aires. 151 pp.

- Marx, S. K.; McGowan, H. A.; Kamber, B. S. 2009. Long-range dust transport from eastern Australia: a proxy for Holocene aridity and ENSO-type climate variability. *Earth and Planetary Science Letters*, 2821-4, 167-177.
- Massad, W. O. 1998. Detección precoz de la degradación en la Cuenca de Pozuelos, Pcia. de Jujuy a través de un sistema de información geográfica 66 pp. Tesina de Ingeniero Agrónomo FAUBA.
- Massad, W., Navone, S., Puentes, I., Movia, C., Maggi, A. 2000. Desertificación en la Puna jujeña: Cuantificación de la erosión hídrica a través de un sistema de información geográfica. 11th International Soil Conservation Organization Conference. Buenos Aires.
- Matteucci, S. 2012 Ecoregión Puna. Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos argentinos, Edition: First, Chapter: 2, Publisher: Orientación Gráfica Editora S.R.L., Editors: J. Morello, S.D. Matteucci, A. Rodríguez, M. Silvia, pp.87-127.
- McBride, J. and N. Nicholls, 1983: Seasonal relationships between Australian rainfall and the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 111(10), 1998-2004.
- McConnell, J. R., Aristarain, A. J., Banta, J. R., Edwards, P. R., & Simões, J. C. 2007. 20th-Century doubling in dust archived in an Antarctic Peninsula ice core parallels climate change and desertification in South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(14), 5743-5748.
- Mechoso, C.R., Robertson, A.W., Ropelewski, C.F. y Grimm, A.M., 2004. The American Monsoon Systems. *Proceedings of the 3rd international workshop on monsoons*. Vol 1, págs. 2–6. Hangzhou, China.
- Meehl, G.A., Hu, A., Arblaster, J.M., Fasullo, J. y Trenberth, K.E., 2013. Externally forced and internally generated decadal climate variability associated with the Interdecadal Pacific Oscillation. *J. Climate* 26, 7298–7310.
- Meigs, P. 1953, World distribution of arid and semi-arid homoclimates, *Arid Zone Hydrology, Rev. of Res. (Arid Zone)*, UNESCO, Paris, 203-210.
- Meskhidze, N. 2007. Iron biogeochemistry in the Southern Ocean and the possible role of Patagonian Dust in ocean fertilization. *Multidisciplinary Workshop on Southern South American Dust*. Puerto Madryn, Argentina 3-5.
- Meyer-Christoffer, A., Becker, A., Finger, P., Rudolf, B., Schneider, U., Zeise, M. 2011. GPCP Climatology Version 2011 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation Climatology for Every Month and the Total Year from Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data. Recuperado el 20 de Mayo de 2015, de 10.5676/DWD_GPCP/CLIM_M_V2011_050
- Middleton, N. Thomas, D. 1997: *World Atlas of Desertification*, Arnold, London.
- Mihi, A., Benarfa, N. and Arar, A. 2019. Assessing and mapping water erosion-prone areas in northeastern Algeria using analytic hierarchy process, USLE/RUSLE equation, GIS, and remote sensing. *Applied Geomatics*, 1-13.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Miller, A.J.; Cayan D.R., Barnett T.P. y Oberhuber J.M., 1994. The 1976-77 climate shift of the Pacific Ocean. *Oceanography*, 7, 996–1002.
- Minetti, J.L. y Vargas, W.M., 1997. Trends and jumps in the annual precipitation in South America, south of the 15° S. *Atmósfera*, 11, 205-221.
- Minetti, J. L., Albarracín, S. A., Bobba, M. E., Hernández, C. M., López, E. R., Acuña, L. A., ... & Mendoza, E., 1999. *Atlas climático del noroeste argentino*.
- Minetti, J.L., Vargas, W.M., Poblete, A.G., Acuña, L.R. y Casagrande, G., 2003. Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera*, 16, 119-135.
- Minetti, J.L., 2005. *El Clima del Noroeste Argentino*. Ed. Magna, S.M. de Tucumán. 350 págs.
- Minvielle, M. and Garreaud, R.D. 2011. Projecting Rainfall Changes over the South American Altiplano. *Journal of Climate* Vol. 9:4577-4583.
- Mitchell, J. 1996. "Negociando los contextos de la prevención de desastres", Mansilla, E. (ed.), *Desastres: modelos para armar*. Colección de piezas de un rompecabezas social, La Red, Lima, pp. 44-57.
- MODIS. [En línea]. Disponible en: <ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT>.
- Morello, J. 2002. Perfil ecológico de Sudamérica. Volumen 1. Características estructurales de Sudamérica y su relación con espacios semejantes del planeta. Edición digital. ICI, Ediciones de Cultura Hispánica.
- Morello, J., Matteucci, S.D., Rodríguez, A.F. y Silva, M. 2012. *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos* Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora,

- Morton, J., & Barton, D. 2002. Destocking as a drought-mitigation strategy: clarifying rationales and answering critiques. *Disasters*, 26(3), 213-228.
- Mosca Torres, M.E. and Puig S. 2010. Seasonal diet of vicuñas in the Los Andes protected area (Salta, Argentina): Are they optimal foragers? *Journal of Arid Environments* 74:450-457.
- Movia C.P., Navone S.M. 1994. Imágenes Landsat TM: Una herramienta para evaluar el deterioro de los pastizales de la Puna Argentina. *Investigación Agraria, Producción y protección Vegetales*. Vol. 9 (1).
- Nadir, A. y Chafatinos, T. 1990. Los suelos del NOA (Salta y Jujuy). UNSa. Salta.
- Namias, J., 1978. Multiple causes of the North American abnormal winter 1976-77. *Monthly Weather Review*, 106, 3, 279-295.
- Narváez, L.; Lavell A. y Pérez Ortega, G. 2009. La gestión de riesgo de desastres. Un enfoque basado en procesos. San Isidro, Proyecto PREDECAN – Comunidad Andina; 106 p.
- Natenzon, C. 1995. Catástrofes Naturales, riesgo e incertidumbre. FLACSO, Serie de documentos e informes de investigación N°197 Buenos Aires.
- Natenzon, C. 1998. Riesgo, vulnerabilidad e incertidumbre. Desastres por inundaciones en Argentina. Presentado en Seminario sobre Problemas ambientales e vulnerabilidad de Abordagens integradoras para o campo da Saude Publica. Junio 1998. Río de Janeiro, Brasil.
- Natenzon, C. 2003. Inundaciones catastróficas, vulnerabilidad social y adaptaciones en un caso argentino actual. Cambio climático, elevación del nivel medio del mar y sus implicancias. In *Climate Change Impacts and Integrated Assessment EMF (Energy Modeling Forum)*.
- Navarro, Carlos Javier: Estacionalidad Climática e Hidrológica: Las vegas puneñas — Noviembre 2018
- Navone S.M. 1996. Valoración de la degradación/desertificación a través de imágenes satelitarias en una región semiárida de la Puna Argentina. Tesis Magíster Scientiae en Ciencias del Suelo Escuela para graduados Alberto Soriano FAUBA
- Navone S. 1998. Identificación de la erosión eólica mediante el análisis de imágenes satelitarias. *Investigaciones agrarias. Producción y protección vegetal*, 13 (3): 253-264 España.
- Navone S., Bargiela M., Maggi A. y Movia C. 2006. Indicadores biofísicos de desertificación en el Noroeste argentino: desarrollo metodológico en "Indicadores de la desertificación para América del Sur-Pp. 103-113. Editor: Elena María Abraham y Gertjan B. Beekman.
- Navone S M. y Maggi A. E. 2011. Autores colaboradores: M Bargiela, M. Bosio, M. L. Corso, Rafael I. y V. Pietragalla.: Sitio piloto en la Región Puna. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. 117-146. Evaluación de la desertificación en Argentina. Resultados del Proyecto LADA/FAO.
- Nehaï, S. A., and Guettouche, M. S. 2020. Soil loss estimation using the revised universal soil loss equation and a GIS-based model: a case study of Jijel Wilaya, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(4), 152.
- Newman, M., Alexander, M.A., Ault, T.R., Cobb, K.M., Deser, C., Di Lorenzo, E., Mantua, N.J., Miller, A.J., Minobe, S., Nakamura, H., Schneider, N., Vimont, D.J., Phillips, A., Scott, J.D. y Smith, C.A., 2016. The Pacific decadal oscillation, revisited. *J. of Climate*, 29, 12, 4399-4427.
- Nogués-Paegle, J., Mechoso, C.R. y coautores, 2002. Progress in Pan American CLIVAR Research: Understanding the South American Monsoon. *Meteorológica*, 27, 3-32.
- Obschatko, E., Foti, M.P. y Roman, M. 2006. Los pequeños productores de la República Argentina. Importancia en la producción agropecuaria y en el empleo en base al Censo Nacional Agropecuario 2002. Dirección de Desarrollo Agropecuario DDA: Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura familiar- Proyecto de desarrollo de pequeños productores agropecuarios PROINDER Buenos Aires. Serie Estudios e Investigaciones, 10.
- Oosterheld M., Di Bella C.M. y Herdiles H. 1998. Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate in grasslands. *Ecological Applications*. Vol. 8: 207-212.
- Okin, G. S., & Reheis, M. C. 2002. An ENSO predictor of dust emission in the southwestern United States. *Geophysical Research Letters*, 29(9), 46-1.
- ONDTYD. Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación, www.desertificacion.gob.ar.

- Orúe, M. E., Laterra, P., Cabria, F. 2007. Expansión de la frontera agrícola en Argentina y erosión hídrica: mapas de riesgo utilizando el Modelo USLE con apoyo de SIG. En R. Rivas, A. Crisotti, & M. Sacido (Ed.), Teledetección hacia un mejor entendimiento global y regional XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, (págs. 185-192).
- Oxfam Internacional: <https://www.oxfam.org/es/informe-anual> Climate Change Adaptation, Oxfam International Research Report, April 2010 page 3.
- Oyarzabal, M., Bustamante, M.L. y Paruelo, J.M. (2014). Estimación del Índice de Cobertura Vegetal (ICV) en el marco del Índice de Conservación de los Pastizales Naturales (ICP) en campos ganaderos de los Pastizales del Cono Sur. En: Índice de Contribución a la Conservación de Pastizales Naturales del Cono Sur. Una herramienta para incentivar a los productores rurales. Parera, A., Paullier, I. y Weyland, F. (Editores). Buenos Aires
- Paisley E.C.I., Lancaster N., Gaddis L.R., Greelye R., 1991. Discrimination of active and inactive sand from remote sensing: Kelso Dunes, Mojave Desert, California. *Remote Sensing of Environment*, 37: 153–166.
- Pando-Moreno M., Jurado E., Manzano M. y Estrada E. 2004. *Journal of Range Management*, Vol. 57: 320-324.
- Paoli, H., Bianchi, A. R., Yáñez, C. E., Volante, J. N., Fernández, D. R., Mattalía, M. C., & Noé, Y. E., 2002. Recursos Hídricos de la Puna, valles y Bolsones áridos del Noroeste Argentino. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Salta. Centro de Investigación, Educación y Desarrollo (CIED). Aguatiplano.
- Paoli, H. P., Volante, J. N., Noe, Y. E., Vale, L. M., 2009 Adecuación a un sistema de información geográfica del estudio "Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy), Nadir A. - Chafatinos T., 1990". INTA.
- Paruelo J.M. y Lauenroth W.K. 1998. Interannual variability of NDVI and its relationship to climate for North American shrublands and grasslands. *Journal of Biogeography*. Vol. 25: 721–733.
- Paruelo, J.M., Piñeiro, G., Oyonarte, C., Alcaraz-Segura, D., Cabello, J., Escribano, P. 2005. Temporal and spatial patterns of ecosystem functioning in protected arid areas of Southeastern Spain. *Applied Vegetation Science* 8:93-102.
- Paruelo J.M. 2009. Annual and seasonal variation of NDVI explained by current and previous precipitation across Northern Patagonia. *Journal of Arid Environments*. Vol. 73: 745-753.
- Paz G., 1991. Campesinos propietarios en la Puna de Jujuy: Yoscaba a fines del siglo XIX. En: La Reserva de la Biosfera Laguna de Pozuelos: Un ecosistema pastoril en los Andes Centrales. 107-120.
- Pettengell, C. 2010. Climate Change Adaptation: Enabling people living in poverty to adapt. *Oxfam Policy and Practice: Climate Change and Resilience*, 6(2), 1-48.
- Philippon N., Mougín E., Jarlan L. y Frison P.L. 2005. Analysis of the linkages between rainfall and land surface conditions in the West African monsoon through CMAP, ERS-WSC, and NOAA-AVHRR data. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. Vol. 110: D24115, 14 pág.
- Pickup G. 1998. Desertification and climate change—the Australian Perspective. *Clim Res* Vol. 11: 51–63.
- Plisnier P.D. Serneels S. and Lambin E.F. 2000. Impact of ENSO on East African Ecosystems: A Multivariate Analysis Based on Climate and Remote Sensing Data. *Global Ecology & Biogeography*, 9: 481–497.
- Propastin, P., Fotso, L., & Kappas, M. 2010. Assessment of vegetation vulnerability to ENSO warm events over Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, S83-S89.
- PROSA - FECIC. Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua. 2015. El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Buenos Aires.
- Ramakrishna, Y. S., Rao, G. G. S. N., Rao, G. N., & Kumar, P. V. 2004. Climate Variability and Change and their Impact on Land Degradation in Dryland Regions of India. *Resource Conservation and Food Security: An Indian Experience*, 2, 459.
- Ramsey, R. D., Wright Jr, D. L., & Mc Ginty, C. 2004. Evaluating the use of Landsat 30m Enhanced Thematic Mapper to monitor vegetation cover in shrub-steppe environments. *Geocarto International*, 19(2), 39-47.
- Ravelo A.; Planchuelo A.; García C; Soria D.; Maggi A.; Kindgard A; Elissalde N.; Salomone J. 2011. Cap 3. En: Evaluación de la Desertificación en Argentina.: FAO. P73 - 96.

- Reboratti, C. 2005. Ecorregiones Puna y Altos Andes. Situación Ambiental Argentina. Buenos Aires. Ed. Fundación Vida Silvestre Argentina. 33-51.
- Reboratti, C. 2007. "El espacio rural en América Latina: procesos, actores, territorios." En: Geografía. Nuevos temas, nuevas preguntas. Un temario para su enseñanza. Fernández Caso y Gurevich –coordinadoras-. Buenos Aires, BIBLOS. Colección Claves para la Formación Docente; p.97-124.
- Renard, K.G. and Freimund, J.R. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal Hydrology* 157:287-306.
- Renard, K. G., Meyer, L. D., & Foster, G. R. 1997. Introduction and history. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation, planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE), 2-citation_lastpage.
- Renard, Kenneth G. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Government Printing, 1997
- Reynolds J.F. y Stafford Smith D.M. 2002. Global Desertification: Do Humans Cause Deserts? Berlín. Ed. DahlemUniversityPress, 437 pág.
- Ribera, A.M. 1992. Regiones ecológicas de Bolivia. En Marconi, M. Ed.: Conservación de la Biodiversidad en Bolivia. CDC/USAID. La Paz, Bolivia.
- Risse, L. M., Nearing, M. A., Laflen, J. M., & Nicks, A. D. 1993. Error assessment in the universal soil loss equation. *Soil Science society of America journal*, 57(3), 825-833.
- Rocca, E.O., Breglia T., Rivera M.J., Santos E.E. y Torres C. 1984. Estudios de suelos de la Puna jujeña. UNJU. S.S. de Jujuy. Proy. Esp. Multinacional OEA/065.
- Ronchail, J. 1995. Variabilidad interanual de las precipitaciones en Bolivia. *Bulletin de l'Institut Francaisd' Études Andines*, (24) 369-378.
- Ronchail, J., y Gallaire, R., 2006. ENSO and rainfall along the Zongo valley (Bolivia) from the Altiplano to the Amazon basin. *Int. J. Climatol.* 26, 1223-1236.
- Ropelewski, C.F. y Halpert, M.S., 1987. Global and Regional Scale Precipitation Trenberth, K.E., 1997. The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2771–2777.
- Ropelewski, C.F. y Halpert, M.S., 1987. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño / Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1606-1626.
- Rudolf, B., U. Schneider (2005): Calculation of Gridded Precipitation Data for the Global Land-Surface using in-situ Gauge Observations, Proceedings of the 2nd Workshop of the International Precipitation Working Group IPWG, Monterey October 2004, EUMETSAT, ISBN 92-9110-070-6, ISSN 1727-432X, 231-247.
- Russian, G., Agosta, E. y Compagnucci, R., 2015. Variaciones en baja frecuencia de la precipitación estacional en la región Pampa Amarilla y posibles forzantes. *Meteorologica*, 40, 17-42.
- Ruthsatz, B. 1974. Los arbustos de las estepas andinas del noroeste argentino y su uso actual. *Bol. Soc. Arg. Bot.* 16,27-45.
- Ruthsatz, B. y Movia C. 1975. Relevamiento de las estepas andinas del noreste de la provincia de Jujuy. Vol. 1, Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura. FECIC. Buenos Aires. 127 Pp.
- Safriel, U., Adeel, Z., Niemeijer, D., Puigdefabregas, J., White, R., Lal, R., ... & King, C. 2005. Dryland systems. In *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends.: Findings of the Condition and Trends Working Group* (pp. 623-662). Island Press.
- Safriel, U. 2017. Land Degradation Neutrality (LDN) in drylands and beyond—where has it come from and where does it go. *Silva Fennica*, 51(1B), 20-24.
- Sahli, Y., Mokhtari, E., Merzouk, B., Laignel, B., Vial, C., & Madani, K. 2019. Mapping surface water erosion potential in the Soummam watershed in Northeast Algeria with RUSLE model. *Journal of Mountain Science*, 16(7), 1606-1615.
- Salvia M., Karszenbaum H., Kandus P. y Grings F. 2009. Datos satelitales ópticos y de radar para el mapeo de ambientes en macrosistemas de humedal *Revista de Teledetección*. ISSN: 1988-8740. 31: 35-51.
- Samani, Z.A.; Pessarakli, M. 1986. Estimating potential crop evapotranspiration with minimum data in Arizona. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.29, n.2, p.522-524.
- Sánchez, M. E., Trucco, C. E. y Volante, J. N. 2009. "Línea de base de vegetación del Parque Nacional Los Cardones Salta – Argentina". Administración de Parques Nacionales. Instituto de Tecnología Agropecuaria.

- Santamans, C.; Franco, M. G, Lupo, L. y Córdoba, F. 2018. Dinámica interanual y estacional de la Laguna Chaupijara (Puna Norte, Jujuy) y su relación con las Precipitaciones. Séptimo Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología Puerto Madryn.
- Scarpati, O. E., & Capriolo, A. D. 2013. Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2013(82), 38-51.
- Schwerdtfeger, W., 1976. The atmospheric circulation over Central and South America. *Climates of Central and South America*. Vol. 12, W. Schwerdtfeger, Ed., World Survey of Climatology Series, Elsevier, 2–12.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS). 2005. Región Puna y Valles Áridos. Evaluación de la Degradación de las Tierras en Zonas Áridas – LADA. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=1462>.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2007. 2º Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Buenos Aires.
- Schmidt, H. y Karnieli, A. 2000. Remote sensing of the seasonal variability of vegetation in a semi-arid environment. *Journal of arid environments*. 45(1): 43-59.
- Seely M. 2004. People and desert, chapter 2. *Global Desert Outlook*. 2004.
- Seinfeld J. H. and Pandis S. N. 1997. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley, New York, pp. 292–293.
- Sellers P. J. 1985. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*. Vol 6: 1335-1372.
- Seluchi, M.E., Saulo, C., Nicolini, M. and Satyamurty, P., 2003. The Northwestern Argentinean Low: A study of two typical events. *Mon. Wea. Rev.*, 131, 2361-2378.
- Seluchi, M.E. y Garreaud, R.D., 2012. Campos médios e processos físicos associados ao ciclo de vida da Baixa do Chaco. *Rev. Bras. Meteorol.* [online], 27, 4, 447-462. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862012000400008>.
- Seluchi, M.E. y Saulo, A.C., 2012a. Mecanismos físicos associados à formação da Baixa do Chaco. *Anales del XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Belén, Brasil (disco compacto).
- Seluchi, M.E. y Saulo, A.C., 2012b. Baixa do Noroeste Argentino e Baixa do Chaco: características, diferenças e semelhanças. *Rev. Bras. Meteorol.* [online]. 2012, 27, 1, 49-60. ISSN 0102-7786. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862012000100006>.
- Servicio Meteorológico Nacional. SMN. Disponible en: <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>. Consultado por última vez el 01/06/2019.
- Shao Y., Wyrwoll K. H., Chappell A., Huang J., Lin Z., McTainsh G. H., Mikami M., Tanaka T. Y., Wang X. and Yoon S. 2011. Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research* 2 (4): 181-204.
- Shen, Z., Yao, W., Xiao, P., Li, M., Zhang, P., Yang, J., ... & Liu, H. 2019. Research Progress of Spatial Distribution about Geomorphology-Vegetation-Water Erosion Based on Remote Sensing in Soil Covered Pisha Stone Area. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 562, No. 1, p. 012111). IOP Publishing.
- Shoshany, M., & Karnibad, L. (2015). Remote sensing of shrubland drying in the south-East Mediterranean, 1995–2010: water-use-efficiency-based mapping of biomass change. *Remote Sensing*, 7(3), 2283-2301.
- Silva Dias, P.L., Schubert, W.H. y De Maria, M., 1983. Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. *J. of the Atmos. Sci.*, 40, 11, 2689-2707.
- Sistema de Información y Gestión Agrometeorológico del INTA. SIGA. Disponible en: <http://sigas2.inta.gov.ar/#/>. Consultado por última vez el 17/06/2019.
- Smith, D. M. S., Abel, N., Walker, B., & Chapin, F. S. 2009. Drylands: coping with uncertainty, thresholds, and changes in state. In *Principles of ecosystem stewardship* (pp. 171-195). Springer, New York, NY.
- Smyth, A.J., Dumanski, J. 1993. FESLM: an international framework for evaluating sustainable land management. *World Soil Resources Report N°73*, FAO, Rome.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M.M.B, Miller, H.L. and Chen, Z., 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Vol. 1, S. Solomon et al, Eds., Cambridge University Press, 235-336.

- Spinoni, J., Barbosa, P., Bucchignani, E., Cassano, J., Cavazos, T., Christensen, J. H., ... & Giorgi, F. 2020. Future global meteorological drought hot spots: A study based on CORDEX Data. *Journal of Climate*, 33(9), 3635-3661.
- Srinivasan, R., Singh, S. K., Nayak, D. C., Hegde, R., & Ramesh, M. 2019. Estimation of soil loss by USLE Model using Remote Sensing and GIS Techniques-A Case study of Coastal Odisha, India. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8(4), 321-328.
- Stafford Smith, D.M. and Reynolds, J.F. 2002. Desertification: A new paradigm for an old problem. In: *Global Desertification: Do humans cause deserts?* Eds. Reynolds, J.F. and Stafford Smith, D.M. Pp. 403-424. Dahlem Workshop Report 88, Dahlem University Press, Berlin.
- Sternberg, T., Tsolmon, R., Middleton, N., & Thomas, D. 2011. Tracking desertification on the Mongolian steppe through NDVI and field-survey data. *International Journal of Digital Earth*, 4(1), 50-64.
- Strahler, A. N., & Strahler, A. H. 1991. Geografía física. *Estudios Geográficos*, 52(202), 187.
- Šuri, M.; Cebecauer, T.; Hofierka, J.; Fulajtár, E. 2002 Soil erosion assessment of Slovakia at a regional scale using GIS. *Ecology (Bratislava)* 21(4)404-422.
- Tálamo, A., Tolaba J., Trucco, C. and Acuña E. 2010. Vegetation units and floristic composition in areas of the northwestern Altiplano, Argentina. *Steppe environments. Ecología en Bolivia* 45(1): 4-19.
- Tchilinguirian, P. y Olivera, D. E. 2012. Degradación y formación de vegas puneñas (900-150 años AP), Puna Austral (26 S) ¿Respuesta del paisaje al clima o al hombre? *Acta Geológica*, 24, 41–61.
- Tecchi, R. y García Fernández J.J. 1998. La frontera agropecuaria en un humedal del altiplano argentino. En: J.L. Cajal, J. García Fernández y R. Tecchi (eds.) *Bases para la conservación y manejo de la Puna y cordillera frontal de Argentina. El rol de las reservas de biósfera. FUCEMA-UNESCO*, Montevideo, Uruguay, 257-272.
- Tecchi, R., 1991. Los ecosistemas Puna y Suni en la cuenca de la Laguna de Pozuelos. En: J. J. García Fernández y R. Tecchi (comps.). 1991. *La Reserva de la Biósfera Laguna de Pozuelos: un ecosistema pastoril en los Andes Centrales. Programa de Ecología Regional, Instituto de Biología de Altura, Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy. Pp.: 9-22 UNESCO.*
- Thomas, E., Douterlungne, D., Vandebroek, I., Heens, F., Goetghebeur, P. y Van Damme, P. 2011. Human impact on wild firewood species in the Rural Andes community of Apillapampa, Bolivia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178, 333–347.
- Thorntwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.
- Timms, B. V. 2006. The geomorphology and hydrology of saline lakes of the middle Paroo, arid-zone Australia. In *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales (Vol. 127, p. 157)*. Linnean Society of New South Wales.
- Tomasi, J. 2013. Espacialidades pastoriles en las tierras altoandinas: Asentamientos y movi­lidades en Susques, puna de Atacama (Jujuy, Argentina). *Revista de geografía Norte Grande*, (55), 67-87.
- Trauth, M.H., Alonso, R.A., Haselton, K.R., Hermanns, R.L. y Strecker, M.R., 2000. Climate change and mass movements in the NW Argentine Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, 179, 243-256.
- Trenberth, K.E., 1997. The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2771–2777.
- Trenberth, K.E. y Caron, J.M., 2000. The Southern Oscillation revisited: Sea level pressures, surface temperatures, and precipitation. *J. Climate*, 13, 4358–4365.
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B. y Zhai, P., 2007. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Vol. I, Cambridge University Press, págs. 235–336.*
- Trenberth, K.E. y Stepaniak, D.P., 2001. Indices of El Niño Evolution. *J. Climate*, 14(8), 1697–701.
- Troeh, F.R., Hobbs, J.A. y R.L. Donahue. 1991. *Soil and Water Conservation. Second Edition.* Prentice Hall, Inc. 530 pp.
- Troll C. 1971. Landscape ecology (geoecology) and biogeocenology - a terminological study. *Geoforum*, 8: 43-6.

- Troup, A. J. 1965. The 'southern oscillation'. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 91(390), 490-506.
- Tsonis A.A., Elsner J.B., Hunt A.G. and Jagger T.H. 2005. Unfolding the relation between global temperature and ENSO. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L09701, Doi:10.1029/2005GL022875.
- Tukey, J., 1949. Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. *Biometrics*, 5, 99-114.
- UNCCD, 2007. What is desertification? <http://www.unccd.int/knowledge/faq.php>.
- UNCCD, 2011. Draft advocacy policy framework on food security. Convention to Combat Desertification. ICCD/CRIC (10)/21. GE.11-63427.
- UNESCO. 1981. Vegetation map of South America. Map 1:5,000,000. Institut de la Carte Internationale de Tapis Vegetal. Toulouse, France.
- UNISDR. 2015. Hacia el desarrollo sostenible: El futuro de la gestión del riesgo de desastres. Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra, Suiza: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres; 352 p.
- UTF – PROSAP 2005. Estudio: "Diagnóstico de las áreas de riego de la provincia de Jujuy" 2005 Convenio UTF – PROSAP-Proyecto de Desarrollo Institucional para la Inversión FAO- Banco Mundial-Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentino.
- Valdivia, G., de la Torre, C., & Cruz, M. 2012. Los desafíos de la Adaptación al Cambio Climático en comunidades rurales altoandinas.
- Van der Knijff, J.M., Jones, R.J. and Montanarella, L. 2000. Soil erosion risk assessment in Italy. European Soil Bureau.
- Vargas, W.M., Minetti, J. and Poblete, A., 1995. Statistical study of climate Jump in the regional zonal circulation over South America. *J. Met. Soc. Japan*. 73, 849-855.
- Vega E., Mugica V., Reyes E., Sánchez G., Chow J. C. and Watson J. 2001. Chemical composition of fugitive dust emitters in Mexico City. *Atmospheric Environment* 35: 4033-4039.
- Vera, C., Higgins, W., Amador, J., Ambrizzi, T., Garreaud, R., Gochis, D., Gutzler, D., Lettenmaier, D., Marengo, J., Mechoso, C.R., Nogues-Paegle, J., Silva Dias, P.L., and Zhang, C.Ç., 2006. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *J. Climate*, 19, 4977-5000.
- Verstraete, M. M., & van Ypersele, J. P. 1986. Wind versus water erosion in the context of desertification. In *Physics of desertification* (pp. 35-41). Springer, Dordrecht.
- Verstraete, M. M., & Schwartz, S. A. 1991. Desertification and global change. *Vegetatio*, 91(1-2), 3-13. In: Henderson-Sellers, A., & Pitman, A. J. (Eds.). (2012). *Vegetation and climate interactions in semi-arid regions* (Vol. 12). Springer Science & Business Media.
- Vetter, S. 2005. Rangelands at equilibrium and non-equilibrium: recent developments in the debate. *Journal of Arid Environments*, 62(2), 321-341
- Viand, J.M.; Calvo, A.; y Natenzon, C.E. 2009. Gestión local del riesgo, adaptación a la dinámica del clima y prevención de desastres. El caso de Santa Fe.
- Vorano, A.E. Vargas Gil, José R. Nieva, J.I., Volante, J., Rebuffi, G., Aguirre, D., y Bianchi, A. R. 2002. Evaluación de la situación actual de los procesos de Desertificación de la Puna salto-jujeña. *Soluciones Alternativas*. INTA. Salta.
- Vuille, M., 1999. Atmospheric circulation over the Bolivian Altiplano during dry and wet periods and extreme phases of the southern oscillation. *Int. J. Climatol.*, 19, 1579-1600.
- Vuille, M., Bradley, R.S. y Keimig, F., 2000. Interannual climatic variability in the Central Andes and its relation to tropical Pacific and Atlantic forcing. *J. Geophys. Res.*, 105, 12447-12460.
- Vuille y otros, 2000; Ambrizzi, T., de Souza, E.B., and Pulwarty, R.S., 2004. The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on South American seasonal rainfall. In: *The Hadley circulation: present, past and future*. Springer Ed. Netherlands. págs. 203-235.
- Walker, B. H. 1993. Rangeland ecology: understanding and managing change. *Ambio*, 22, 80-87.
- Wang, J., Zhang, W., & Zhang, Z. 2019. Impacts of Land-Use Changes on Soil Erosion in Water-Wind Crisscross Erosion Region of China. *Remote Sensing*, 11(14), 1732.
- Warren, A. and Khogali M. 1992. Assessment of Desertification and Drought in the Sudano-Sahelian Region 1985-1991. New York: United Nations Sudano-Sahelian Office (UNSO), UNDP. 102 Pp.

- Washington-Allen R.A., West N.E. Ramsey R.D. and Efroymson R.A. 2006. A protocol for retrospective remote sensing-based ecological monitoring of rangelands. *Rangeland Ecology and Management*, 59(1): 19-29.
- Washington-Allen R.A., Ramsey R.D., West N.E. and Norton B.E. 2008. Quantification of the ecological resilience of drylands using digital remote sensing. *Ecology and Society*, 13(1): 33.
- Washington-Allen, R. A., West, N. E., Ramsey, R. D., Phillips, D. H., & Shugart, H. H. 2010. Retrospective assessment of dryland soil stability in relation to grazing and climate change. *Environmental monitoring and assessment*, 160(1-4), 101-121.
- WCED-Sustainable Development Knowledge Platform 1987, Our Common Future. In: Brundtland, G.H. (Ed.), The World Commission on Environment and Development, Oxford.
- Webb, N. P., McGowan, H. A., Phinn, S. R., & McTainsh, G. H. 2006. AUSLEM (AUStralian Land Erodibility Model): A tool for identifying wind erosion hazard in Australia. *Geomorphology*, 78(3-4), 179-200.
- Webb, N. P., Kachergis, E., Miller, S. W., McCord, S. E., Bestelmeyer, B. T., Brown, J. R., ... & Leys, J. F. 2020. Indicators and benchmarks for wind erosion monitoring, assessment and management. *Ecological Indicators*, 110, 105881
- Weiss, J. L., Gutzler, D. S., Coonrod, J. E. A., & Dahm, C. N. 2004. Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico, USA. *Journal of Arid Environments*, 58(2), 249-272.
- Wessels K.J., Prince S.D., Malherbe J., Small J., Frost P.E. and VanZyl D. 2007. Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. *Journal of Arid Environments*, 68: 271–297.
- Whetten, P. 1997. Floods, droughts and the Southern Oscillation. In Webb, E.K., editor, *Windows on meteorology: Australian perspective*, Collingwood, Australia: CSIRO Publishing, 180–199.
- Wiegand, T., Snyman, H.A., Kellner, K. y Paruelo J. M. 2008. Do Grasslands Have a Memory: Modeling Phytomass Production of a Semiarid South African Grassland. *Ecosystems* 7:243-258.
- Wilke, B., Santos, R. H., Picchetti, E. E., Larran, L. P. E., Guzmán, M. T., Colarich, G. F., y Casoli, C. R. 2001. Carta de aptitud ambiental de la provincia de Jujuy. Universidad Nacional de Jujuy, (Argentina).
- Williams, M. A. 2001. Interactions of desertification and climate: Present understanding and future research imperatives. *Arid lands newsletter*, 49, 1-9. <https://cals.arizona.edu/oals/ALN/aln49/williams.html>
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1965. Predicting Rainfall Erosion Losses from Cropland East of Rocky Mountains. USDA Science and Education. <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>
- Wischmeier, W.H., & Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall-erosion losses: A guide to conservation planning. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 537.
- Wolter, K., y Timlin, M.S., 1998. Measuring the strength of ENSO events - how does 1997/98 rank? *Weather*, 53, 9, 315-324.
- Wolter, K., y Timlin, M.S., 2011. El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *Int. J. Climatol.*, 31, 14, 1074-1087.
- Wright E., Greenville N.C.; and Nieto Ferreira R., Rickenbach T.M., and Barnhill R. 2010. Effects of Cold Fronts on the onset of the South American Monsoon. The 90th American Meteorological Society Annual Meeting (Atlanta, GA). 22nd Conference on Climate Variability and Change.
- Wang, G., Gertner, G., Fang, S., & Anderson, A. B. 2003. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(8), 889-898.
- Wu, Z., Wang, M., Zhang, H., & Du, Z. 2019. Vegetation and soil wind erosion dynamics of sandstorm control programs in the agro-pastoral transitional zone of northern China. *Frontiers of Earth Science*, 13(2), 430-443.
- Yamamoto, R., Iwashima, T., Sanga, N.K. y Hoshiai, M., 1987. Detection of the Climatic Jumps. XIX IUGG. General Assembly 1-9. Vancouver, Canadá.

- Yan C.Z., Song X., Zhou Y.M., Duan H.C. and Li S. 2009. Assessment of aeolian desertification trends from 1975's to 2005's in the watershed of the Longyangxia Reservoir in the upper reaches of China's Yellow River. *Geomorphology*, 112: 205–211.
- Yang, H., Cao, J., & Hou, X. 2019. Characteristics of Aeolian Dune, Wind Regime and Sand Transport in Hobq Desert, China. *Applied Sciences*, 9(24), 5543.
- Young, K.R., León B., Cano A., and Herrera-MacBryde O..1997. Peruvian Puna Perú. In S.D. Davis, V.H. Heywood, O. Herrera-Mac Bryde, J. Villa-Lobos, and A C. Hamilton, editors, *Centres of plant diversity: A guide and strategy for their conservation*, Vol. 3. The America. IUCN, WWF, Oxford, U.K.
- Yu, B. and Rosewell, C.J. 1996. A robust estimator of the R-factor for the universal soil loss equation. *Trans. of the ASAE* 39(2):559-561.
- Yuchechen, A.E., Bischoff, S. y Canziani, P., 2007. Variabilidad de perturbaciones espaciales y temporales de 500 hPa para sistemas tropicales y extratropicales de Sudamérica. *Geoacta*, 32, 1-17.
- Zhuang G., Duce R.A. and Kester D.R. 1990. The dissolution of atmospheric iron in surface seawater of the open ocean. *J. Geophys. Res.* 95: 16207-16216.
- Zonneved I.S. 1994. Basic principles of classification. In: F. Klijn (ed.). *Ecosystem Classification for Environmental Management*: 23-47. Kluwer Academic Publisher.
- Zusman, P., & Castro, H. 2007. *Viajes y geografías: Exploraciones, turismo y migraciones en la construcción de lugares*. Prometeo Libros Editorial. 262 páginas.