

INFLUENCIA DEL FENÓMENO ENOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD VEGETAL EN DOS COMUNIDADES VEGETALES DE LA PUNA ARGENTINA

Alejandro Maggi¹, Miguel Di Ferdinando¹, Daniel Barrera²
maggi@agro.uba.ar

¹ Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra. FAUBA UBA
² CONICET

RESUMEN

Se usó el *Southern Oscillation Index* (SOI) para determinar las fases del fenómeno ENOS y la influencia de este en la precipitación en la Puna Jujeña (Argentina) mediante el análisis de las series SOI y pluviométrica mensual en la localidad de Abra Pampa para el período 1935-2014. Por otra parte se estableció que existe una alta correlación entre la precipitación puntual observada en Abra Pampa y las estimaciones areales en la celda de 0.5 grados correspondiente obtenidas del Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). Luego se obtuvieron las series temporales en dos celdas cercanas ubicadas sobre dos áreas con sendas comunidades vegetales de la región: Matorrales de *Parastrephia sp.* "Tolares" y Pastizales de *Pennisetum chilense* "Esporales". Se compararon, en ambas celdas para el periodo 2000-2014, los datos del GPCC con estimaciones de productividad vegetal, representado por el Índice Verde de Diferencia Normalizada (NDVI) del producto MOD13Q1 obtenido con datos del sensor MODIS. Se analizaron 322 mosaicos MOD13Q1 correspondientes a los eventos ENOS estudiados. En cada mosaico se tomaron 200 píxeles en nueve áreas muestrales interiores a las dos celdas. Los resultados mostraron que existe una relación entre el SOI y la precipitación en los períodos monzónicos (semestre cálido), más significativa a partir de mediados de la década del '70, con anomalías positivas para las fases frías y negativas durante las fases cálidas en la mayoría de ellos. Los valores de precipitación en las dos celdas GPCC se correspondieron claramente en forma directamente proporcional con la productividad vegetal -estimada con el NDVI- en ambas comunidades vegetales.

Palabras clave: MODIS, SOI, Precipitaciones.

ABSTRACT

The Southern Oscillation Index (SOI) was used to determine the ENSO phases and their influence in the precipitation in the Puna region (northwest of Argentina) by analyzing both the SOI and monthly rainfall series in the town of Abra Pampa during the period 1935-2014. On the other hand, it was determined that there is a high correlation between point rainfall recorded in Abra Pampa and gridded (0.5 degrees) areal estimation obtained from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). Then, time series of precipitation were obtained in two nearby grid-cells where the terrain is vegetated by two different plant communities: Shrubs of *Parastrephia sp.* "Tolares" and rangelands of *Pennisetum chilense* "Esporales". The GPCC data were compared in both cells with estimates of plant productivity, represented by the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) -remote sensing product MODIS - MOD13Q1-, for the period 2000-2014. 322 MOD13Q1 mosaics corresponding to the ENSO events studied were analysed. In each mosaic, 200 pixels were taken in nine sampler areas, inside of the two cells. The results showed that there is a relationship between the SOI and rainfall in the monsoon periods (warm semester), being more significant from the mid-70s, with positive anomalies for cold phases (La Niña) and negative during the warm phase (El Niño) in most of them. In turn, it is clear the close relationship of precipitation in the two cells (GPCC data) with plant productivity in both plant communities.

Key words: MODIS, SOI, Precipitations.

1) INTRODUCCION

El ENOS (El Niño - Oscilación del Sur) es un fenómeno oceánico-atmosférico que causa, entre otras cosas, anomalías climáticas de temperatura en las aguas superficiales del océano Pacífico ecuatorial. Este fenómeno consta de dos fases contrapuestas: una fase cálida (el Niño), que se detecta por el calentamiento atípico de dichas aguas, y una fase fría (la Niña) en la que ocurre una anomalía negativa (enfriamiento) de las mismas. Los efectos del ENOS incluyen cambios en los regímenes de precipitación y otras variaciones climáticas en distintas regiones del planeta, algunas de ellas alejadas del Océano Pacífico, lo que se conoce como teleconexiones, que se deben a interrelaciones dinámicas y termodinámicas entre los océanos y la atmósfera. Las mismas han sido evidenciadas en diversas regiones de la tierra (Ropelewsky y Halpert, 1987; Chiew y McMahon, 2009), entre estas, el Noroeste Argentino (NOA) donde durante períodos Niño las precipitaciones son generalmente inferiores al promedio histórico, y lo contrario durante la fase fría (Trauth et al., 2000; Diaz et al., 2001; Vuille, 1999; Garreaud y Aceituno, 2001). En un estudio realizado de la laguna de Pozuelos por Maggi et al. (2010) se encontró una relación entre la extensión de su superficie y los eventos extremos del fenómeno ENOS. El descenso (aumento) en las fases Niño (Niña) de la precipitación estaría relacionado con el reforzamiento del anticiclón del Atlántico Sur en períodos de bajos valores del SOI, lo cual dificultaría el flujo Norte-Sur en la tropósfera baja al este de los Andes desde la región amazónica hasta el trópico sudamericano durante el semestre cálido. Dicho flujo, originado en la zona de convergencia intertropical por los vientos alisios, constituye el aporte principal de humedad que facilita las lluvias en la región (Francou y Pizarro, 1985). Estos cambios en el régimen hídrico afectan directamente a los diversos ecosistemas de la región, 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 et al., 1998; Irisarri et al., 2013) y la misma se ha estimado con éxito con datos del sensor MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua para la región de la Puna Jujeña (Baldassini et al., 2012) mediante el cálculo del Índice Verde de Diferencia Normalizada (NDVI) que está directamente relacionado con la capacidad fotosintética y la productividad vegetal (Sellers 1985; Carlson y Ripley, 1997; Paruelo et al., 1999;). El NDVI se basa en la diferencia entre el porcentaje de radiación electromagnética reflejada en los canales del Rojo y el Infrarrojo.

Las variaciones en la productividad de las comunidades vegetales naturales afectan directamente la actividad ganadera en la Puna Jujeña cuya principal actividad es la cría extensiva de ganado. Se destacan los camélidos autóctonos (principalmente llamas y alpacas) y otras especies introducidas (caprinos, ovinos y bovinos) que fueron incorporados en la época de la conquista española y que en la actualidad siguen ganando importancia relegando a los camélidos a las partes más altas y marginales de los Andes (Genin y Alzérreca, 2006). A las condiciones naturales de escasa cobertura vegetal, bajas precipitaciones y suelos de bajo contenido de materia orgánica, nutrientes y frágil estructura se suman manejos ganaderos deficientes con elevadas cargas animales y falta de descanso para la recuperación de las comunidades vegetales (Bertiller et al., 2002; Reboratti, 2006) lo cual hacen a la región especialmente susceptible a procesos de degradación y desertificación (Navone y Maggi, 2011). El objetivo del presente trabajo consistió en conocer la variabilidad en la precipitación de la Puna Jujeña, su relación con el fenómeno ENOS y su efecto en el NDVI como indicador de la dinámica estacional de dos comunidades vegetales muy importantes para la región.

2) MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

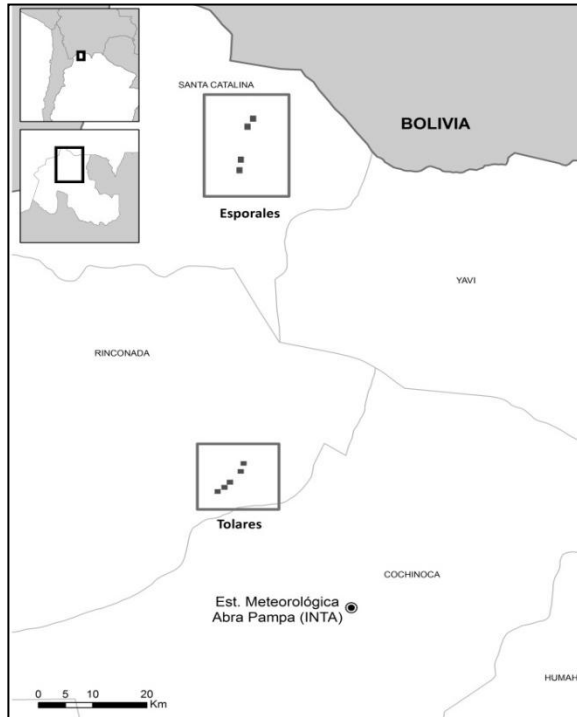


Figura 1. Áreas muestrales de Tolares y Esporales y la estación meteorológica EEA INTA de Abra Pampa.

corresponde a los Pastizales de *Pennisetum chilense* “Esporales” dominado por esta gramínea rizomatosa con gran abundancia que se ubica en amplias áreas arenosas de poca pendiente. Es una comunidad de buena aptitud forrajera lo cual ha hecho que se vea sometida a una intensa presión de pastoreo, por lo que frecuente se encuentra degradada (Quiroga Mendiola, 2004). A partir del mapa de comunidades vegetales elaborado por Movía y Ruthsatz (1975) se delimitaron nueve áreas muestrales (cinco áreas para Tolares y cuatro para los Esporales) (Figura 1).

2.2. Datos climáticos y medición del ENOS

La variable meteorológica para analizar la influencia del ENOS sobre las comunidades vegetales fueron las precipitaciones mensuales registradas en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Abra Pampa. De la serie histórica 1935-2014 se obtuvieron los valores acumulados integrados en periodos de Julio a Junio, y se compararon con las fases Niña y Niño del fenómeno ENOS identificadas a través del *Southern Oscillation Index* (SOI) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) que se calcula con valores de presión media mensual a nivel del mar en las localidades de Tahití (Pacífico occidental) y Darwin (Pacífico oriental). Por otra parte, González y Barros (1998) estudiaron el inicio del monzón sudamericano y su influencia en la finalización del período seco invernal sobre la región de Argentina subtropical. Liebmann y Marengo (2001) avanzaron en este sentido y definieron un criterio basado en la lluvia acumulada en cinco días, dividiendo el año en péntadas. Para el noroeste argentino se pudo identificar claramente que durante el mes de octubre comienza dicha estación. Rivera et al (2009) utilizaron el criterio de péntadas de precipitación propuesto por Liebmann y Marengo, para identificar el comienzo de la estación lluviosa en la región subtropical de Argentina en un año en particular. Encontraron fluctuaciones de péntadas de un año a otro, pero predominantemente en octubre. Con

La Puna o Altiplano se caracteriza por su altitud superior a 3000 m s.n.m., un clima desértico frío con escasas precipitaciones concentradas en la época estival, elevado grado de evapotranspiración y gran amplitud térmica diaria (Burkart et al., 1995; Braun Wilke, 1991). Estas condiciones determinan un ecosistema de condiciones extremas con estepas arbustivas como vegetación dominante (Cabrera, 1948, Braun Wilke et al., 1995). Para el presente estudio se seleccionó la comunidad de Matorrales de *Parastrephia* sp. “Tolares” que se ubica en zonas abiertas y planas en las cercanías de los cursos de agua en suelos arenosos y húmedos conformando estepas arbustivas xerofíticas de hojas resinosas que las hace poco palatables. Son de gran valor por su uso como combustible por los pobladores y por su importante rol en la conservación y recuperación de suelos ya que su sistema radicular profundo y abundante favorece la infiltración de agua, fija el suelo y los protege de la erosión hídrica y eólica. Para los herbívoros de la región es de gran importancia ecológica por su rol en el establecimiento y crecimiento de otras plantas del estrato más bajo. La otra comunidad estudiada

critérios similares puede identificarse al mes de abril como aquél en el cual finaliza típicamente el período lluvioso. Debido a las condiciones de régimen monzónico de la precipitación en esta región, los datos mensuales de precipitaciones de la localidad de Abra pampa fueron ordenados y estudiados por periodos monzónicos. La muy baja densidad de la red pluviométrica en la zona y la distancia considerable existente entre las áreas muestrales de las comunidades vegetales con la estación meteorológica mencionada dificulta ver con claridad la magnitud de la relación causa-efecto buscada (Figura 1). Por ello se procesaron los valores estimados de precipitación mensual del Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) en celdas de 0.5 grados de latitud y longitud, y se comparó su grado de ajuste con los datos registrados en la estación meteorológica de Abra pampa, mediante una regresión estadística. Con los datos mensuales del GPCC se obtuvieron 120 mapas de precipitación con la ayuda del programa Q Gis que facilitó la identificación de las celdas y la extracción de los datos. Una vez realizada dicha regresión y a partir de los datos del GPCC se obtuvieron posteriormente las precipitaciones mensuales registradas para el periodo 2001-2010 en las celdas ubicadas sobre las áreas muestrales de las dos comunidades vegetales analizadas. Dichas precipitaciones se compararon con los valores de NDVI obtenidos para las mismas áreas muestrales.

2.3. Datos espectrales

Para el análisis de la influencia en la vegetación por el fenómeno del ENOS se utilizaron los NDVI obtenidos del producto MOD13Q1 del sensor MODIS a bordo del satélite Terra, de 250 m por pixel de resolución espacial. Cada dato es el resultado de la composición de mosaicos de los mayores valores diarios de cada pixel durante un período de dieciséis días. Se procesaron 322 mosaicos para la serie de periodos monzónicos 2000-2014 y de los mismos se realizaron recortes de 200 pixeles correspondientes a las nueve áreas muestrales de las comunidades vegetales de Tolares y Esporales y se calcularon los NDVI mensuales promedios para la serie. Con los datos obtenidos de todos los píxeles contenidos en las áreas muestrales para las dos comunidades vegetales elegidas para la serie de años 2000-2014 se elaboraron los gráficos que muestran la evolución del NDVI en los meses de lluvia promedio para las dos fases del fenómeno, con el fin de analizar el comportamiento del índice en respuesta al ENOS. Se calculó la integral del NDVI, como la sumatoria del promedio de todos los valores de NDVI de los 200 pixeles desde octubre a abril para cada período monzónico y para cada comunidad. Este dato fue relacionado con la integral de los valores de precipitación de las celdas correspondientes al mismo periodo y lugar estimados por la GPCC. Posteriormente para evaluar y cuantificar el cambio en el NDVI debido al ENOS se graficó el cambio porcentual pixel a pixel promedio por fase y comunidad con respecto al valor promedio pixel a pixel de toda la serie para cada comunidad.

3) RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Salto climático de las precipitaciones

Analizando las lluvias registradas en la estación meteorológica de Abra Pampa para los ciclos que abarcan los meses de Julio a Junio para la serie histórica 1935-2014, se puede observar un cambio pronunciado en las precipitaciones que da lugar a dos etapas distintas sostenidas en el tiempo.

Bloque	n	μ	σ	Mín.	Máx.	Diferencias Significativas
1	38	234,58	86,2	107	433	A
2	37	348,53	99,48	120,5	615,00	B

Tabla I. Análisis de la varianza (test de tukey, $\alpha = 0,05$) entre los Bloques 1 y 2 de la precipitación registrada en Abra Pampa para los períodos monzónicos (Julio-Junio) de la serie de tiempo 1935-2014.

Del periodo 1935-1936 hasta 1973-1974 las precipitaciones son inferiores con diferencias significativas (Tabla I) al compararlas con los períodos posteriores. Minetti y Vargas (1997) detectaron aumentos abruptos en la precipitación media treintaañal en el sur de Sudamérica al este de los Andes al comparar los valores medios de subperíodos consecutivos de 30 años. Estos autores 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-.

Este comportamiento de la precipitación puede relacionarse con cambios en la circulación troposférica en latitudes medias del Hemisferio Sur, la cual fue estudiada por Vargas et al (1995). Estos autores encontraron varios “saltos climáticos” al analizar la circulación troposférica del oeste y del noreste, la cual cuantificaron evaluando la diferencia entre las presiones medias a nivel del mar de dos localidades. El debilitamiento de la circulación zonal -los oestes- permite un reforzamiento de la circulación monzónica norte-sur, con el consecuente mayor ingreso de aire cálido y húmedo a La Puna en el semestre cálido.

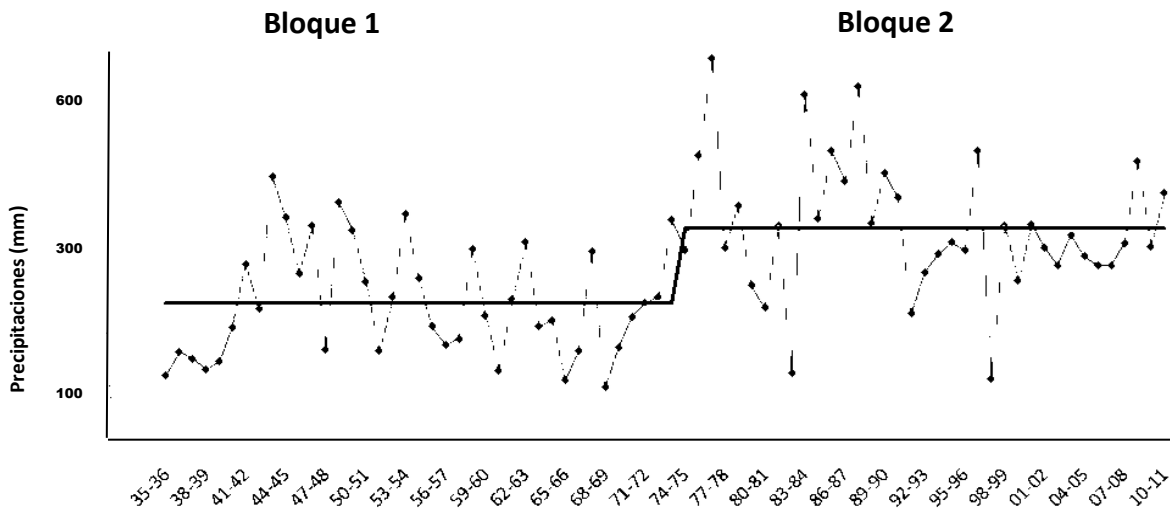


Figura 2. Precipitaciones de la estación de Abra Pampa (1935-2014). La línea negra marca la media y el quiebre que corresponde a un cambio significativo en la misma (test de tukey $p=0,05$).

Al momento de analizar la relación entre el ENOS y las lluvias y posteriormente el efecto del fenómeno sobre la productividad vegetal de las comunidades es importante tener en cuenta este cambio sostenido en la precipitación para poder hacer las comparaciones relativas con el SOI. Por tal motivo, se dividieron en dos “bloques” correspondiendo los mismos a los periodos comprendidos entre 1935/1973 (bloque 1) y de 1973/2014 (bloque 2) (Figura 2). Comparando los bloques, el segundo presenta una media superior y en él se registraron los cinco períodos con más lluvias de toda la serie y una variabilidad superior en los registros en comparación con el primero.

3.2. Precipitaciones y SOI.

Las precipitaciones de cada bloque se compararon con el SOI para los periodos donde se registraron fases Niña o Niño (Figura 3) y posteriormente mediante regresiones lineales se determinó la significancia de la relación que mostró ser positiva sin llegar a ser significativa para el Bloque 1 (Figura 4a), marcando una tendencia al aumento en la precipitación para fases la Niña y una disminución para las fases el Niño, mientras que en el Bloque 2 (Figura 4b), la influencia del índice en las lluvias resultó significativa y positiva indicando la asociación de las variables. Esto podría estar relacionado a la mayor variabilidad registrada en el segundo bloque donde se registran los máximos y

mínimos más pronunciados de toda la serie con respecto a la media del bloque, como por ejemplo en los periodos 82-83 y 97-98 que corresponden a dos episodios el Niño. La baja correlación en datos pluviométricos con respecto al ENOS ha sido evidenciada por otros autores encontraron que en el NOA, a diferencia de otras regiones del continente, la relación es menos significativa (Ropelewsky y Halpert, 1987; Aceituno, 1988).

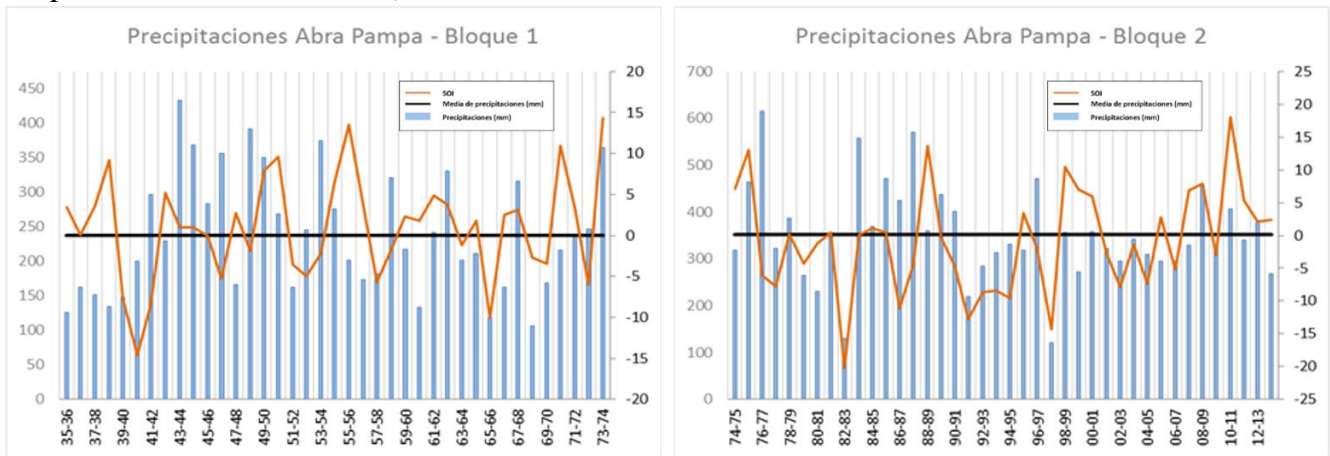


Figura 3 Precipitaciones y SOI del Bloque 1 (1935/1973) (Izq.) y del Bloque 2 1974/2014 (Der.). Las precipitaciones se indican con barras y el SOI con líneas. Las líneas negras indican la media de las precipitaciones para cada Bloque.

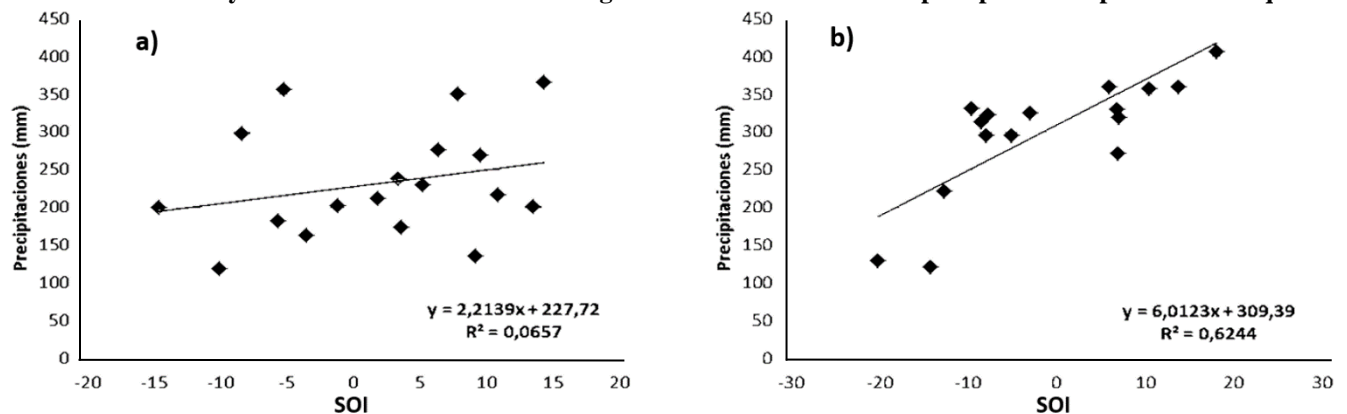


Figura 4. Regresiones lineales entre el SOI promedio del período y las precipitaciones registradas en Abra pampa.

3.3. Precipitaciones en Abra Pampa y GPCC.

La regresión lineal muestra un buen ajuste ($R^2 = 0,72$) entre las precipitaciones mensuales de la estación de Abra pampa y la estimación del GPCC en la celda de 0.5° de latitud y longitud donde se ubica la estación meteorológica para los periodos comprendidos entre los años 2001 y 2010 (Figura 5). Por lo tanto, se decidió usar los datos GPCC de precipitaciones mensuales de las celdas ubicadas sobre las comunidades de “Tolares” y “Esporales” para su comparación con los valores de NDVI de los píxeles interiores correspondientes a estas celdas.

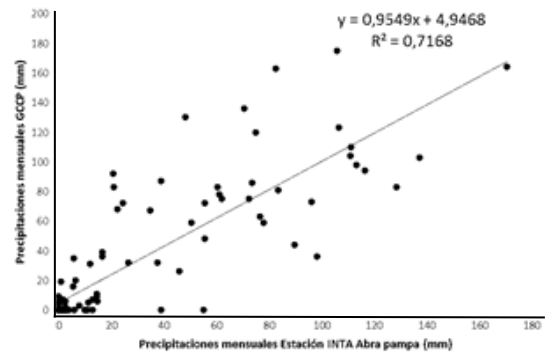


Figura 5. Regresión entre las precipitaciones mensuales de la estación de Abra pampa y del GPCC para los periodos comprendidos entre los años 2001 y 2010.

3.4. NDVI y Fases del ENOS: Episodios Niños y Niñas

Los datos de precipitación comparados con los de productividad (Figura 6) muestran un desfase de un mes aproximadamente entre la respuesta del NDVI y la ocurrencia de las lluvias, debido

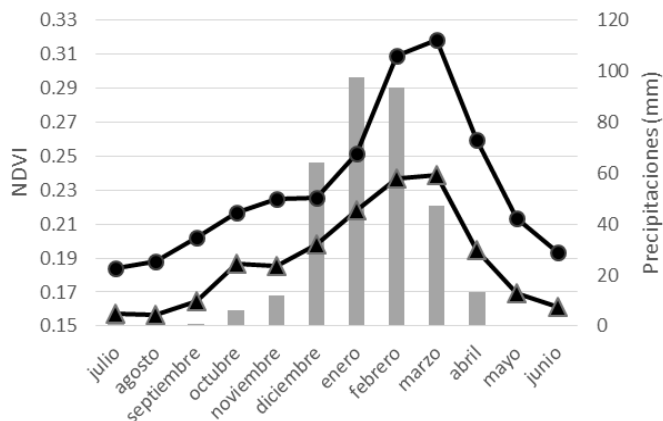


Figura 6. Medias mensuales promedio del NDVI de las comunidades de Tolares (círculos) y Esporales (triángulos) junto a la precipitación mensual promedio

principalmente, al retraso en la respuesta de la vegetación a los pulsos de humedad edáfica que siguen a las lluvias (Schwinning y Sala, 2004). Se observa una diferencia en los valores de NDVI entre ambas comunidades, con valores más altos para los “Tolares” con respecto a los “Esporales”, que se corresponde con lo esperado debido a la diferencia de cobertura entre las dos comunidades de 60% y 30%, respectivamente (Ruthsatz y Movia, 1975). La marcha del NDVI durante el período monzónico muestra que existe un marcado patrón de actividad vegetal estacional, con valores reducidos del índice entre los meses de mayo y agosto coincidentes con el periodo de precipitaciones escasas y/o nulas, y que luego se incrementa a partir de los meses de Septiembre y Octubre cuando se registran las

primeras lluvias. El incremento en la precipitación en los meses de Enero y Febrero provoca los picos máximos de NDVI en Febrero y Marzo, para finalmente comenzar el decrecimiento en el mes de Abril cuando las lluvias vuelven a disminuir, comenzando nuevamente otro ciclo estacional. Ver Figura 6.

Como se ha demostrado el periodo 2001-2010 de mediciones realizadas por el sensor MODIS no se ve afectado por un salto climático. Las integrales de los NDVI de las dos comunidades analizadas presentan correlaciones positivas con las integrales de las precipitaciones de los períodos comprendidos entre los años 2001 y 2010, aunque la misma es apreciablemente mayor en la comunidad de Esporales, ya que es una estepa de gramíneas, ($R^2=0,59$) en comparación con Tolares que conforman estepas arbustivas ($R^2=0,23$). Si solo se consideran las fases La Niña y El Niño indicadas por el SOI obviando los períodos neutros la correlación entre el NDVI y las precipitaciones aumenta de forma considerable para ambas comunidades (Esporales $R^2=0,67$ y Tolares $R^2=0,56$). Estos resultados también se explican porque si bien el fenómeno ENOS es el factor que más influye en las oscilaciones en las lluvias, no es el único que influye en las precipitaciones ocurridas durante el periodo monzónico en el NOA (Tabla II), en correspondencia con lo que otros autores como Aceituno manifiestan para la región.

Fase	μ	σ	CV	Mín.	Máy.
Niño	296,71	114,45	38,57	120,5	571
Niña	366,1	57,4	15,68	271	465
Neutro	380,92	101,71	26,7	230	615

Tabla II Estadísticas de las precipitaciones del periodo 1935-2014 registrada en Abra Pampa para los períodos monzónicos (Julio-Junio) discriminadas por fases del ENOS según el SOI.

El origen de la formación de las precipitaciones en la Puna es muy variado, por ejemplo en donde los salares son reemplazados por lagunas como la de Pozuelos y existen algunas elevaciones de hasta 1000 msnm. con dirección N-S, se alcanzan a producir algún efecto formador de nubes que genera la consiguiente distribución irregular de las precipitaciones. En un trabajo Buitrago (1999), sugiere que las precipitaciones en el (NOA) provienen de vientos húmedos de la Masa Ecuatorial Continental (MEcC) en coincidencia con lo que también sostienen Garreaud y Aceituno (2001). Dicha MEcC se formaría en verano sobre la zona del Amazonas y en todo el interior cálido del continente sud americano, al este de las sierras subandinas. Su alto grado de humedad se origina por la alta evaporación y evapotranspiración y donde tiene, según esta teoría, un rol decisivo el enorme humedal de la región del Pantanal, ubicado al este del Río Paraguay en sus nacientes y en el límite político entre

el país homónimo, Bolivia y Brasil. La elevación brusca de esa masa de aire húmedo (MEcC) sobre la Masa Tropical continental cuando ambas convergen sobre el ciclón de la BNOA (baja del NOA), genera las precipitaciones fuertes y en chubascos características del verano en la zona, las que pueden reforzarse si a dicho proceso de convergencia se suma una masa de aire frío desde el sur. Por lo tanto dicha carga tendría una componente importante en la evaporación del agua disponible en las zonas de origen y su transferencia por circulación de la atmosfera para incrementar los volúmenes de lagos y lagunas de la puna. Este fenómeno, de origen casi exclusivo de la precipitación sobre la Puna del NOA, determina que el volumen de agua anual tiene marcadas diferencias interanuales.

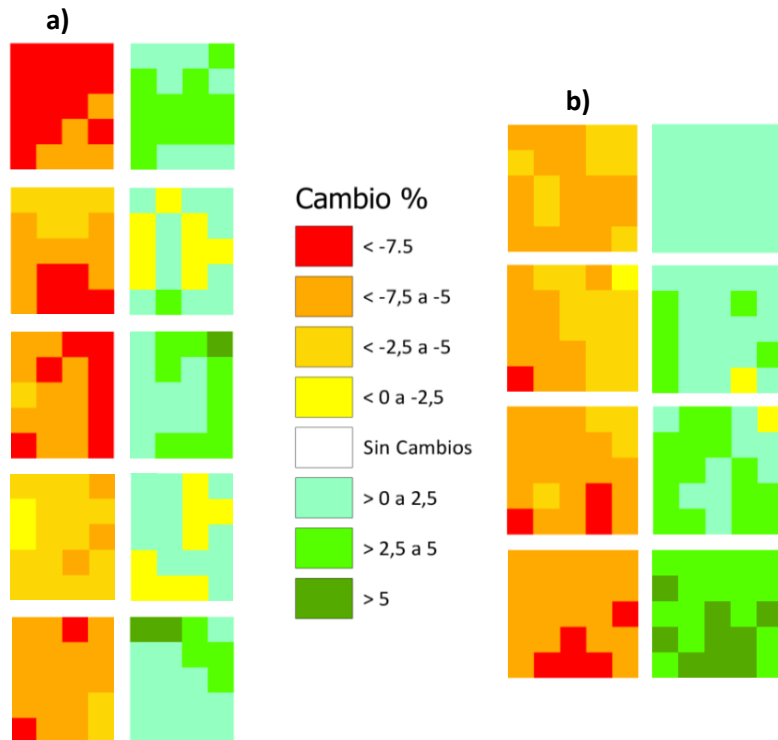


Figura 7. Cambio porcentual del NDVI promedio de fases el Niño (fila izq.) y fases la Niña (fila der.) en los meses de precipitaciones (Septiembre-Abril) con respecto al NDVI promedio para toda la serie 2000-2014 en las áreas muestrales correspondientes a la comunidad de Tolares (a) e ídem para la comunidad de Esporales (b).

puna seca durante el año 1984.

El inesperado máximo valor de 571mm en Abra pampa durante un evento El Niño que se observa después de dos años previos con abundantes precipitaciones, sugiere que en estos años hay otro efecto superpuesto, distinto al fenómeno ENOS. La diferencia porcentual entre el promedio de cada píxel discriminando por fase y comparándola con el promedio total para la serie 2000-2014 para cada una de las comunidades (Figuras 7a y 7b) muestra el patrón de aumento en el NDVI para las fases la Niña, donde para el 84% de los píxeles muestreados en Tolares los valores aumentaron principalmente en el rango del 2,5 al 7,5%. Para la comunidad de Esporales el aumento en las fases la Niña fue similar con el 98% de los píxeles muestreados por encima al promedio de la serie completo. El cambio porcentual registrado para las fases el Niño presento una disminución del NDVI respecto al promedio de la serie completa en el 100% de los píxeles muestreados mostrando disminuciones en las dos comunidades principalmente en el rango de 5% al 7,5%, destacándose en la comunidad de Tolares disminuciones superiores al -7,5% en el 30% de los píxeles muestreados.

Si bien los valores de precipitación mínimo y promedio del periodo monzónico se producen durante la fase El Niño, se observa también que el máximo valor alcanzado en la fase La Niña no supera al máximo de la fase El Niño para el periodo 1973-2013. Sciortino (1991), sugiere que cuando el fenómeno de El Niño tiene gran persistencia en el tiempo con alta intensidad, los excedentes de volúmenes de agua provocados por las crecidas de los ríos del este de Bolivia y centro oeste de Brasil, en la cuenca del río Paraguay, son retenidos en la enorme superficie de las tierras bajas del Gran Pantanal, en la misma cuenca. Al año siguiente de manifestarse El Niño, esta enorme superficie evaporante sobrealimentaría de humedad a la masa de aire de origen Ecuatorial Continental. Ello provocaría lluvias muy intensas al ingresar por el noreste. Un ejemplo de ello son las excesivas lluvias ocurridas en algunas localidades de la

4) CONCLUSIONES

La correlación entre el SOI y las precipitaciones históricas registradas en la localidad de Abra Pampa para el periodo 1935-2012 fue positiva. Asimismo, la misma fue significativamente mayor a partir del año 1974, en donde se evidenció un “salto climático” y las lluvias aumentaron considerablemente. Al comparar las precipitaciones mensuales de Abra pampa con las obtenidas por el GCCP se encontró una alta correlación entre las mismas, mostrando así el buen ajuste del modelo, lo que permitió suplir la inexistencia de observaciones pluviométricas cercanas a las zonas estudiadas, y de esta forma hacer las comparaciones con el NDVI en las áreas muestrales de las comunidades vegetales.

El NDVI mostró correlaciones positivas entre las precipitaciones y el NDVI. La correlación fue mayor para la comunidad de Esporales, aunque también fue alta para los Tolares.

Cuando se consideraron únicamente los NDVI para el periodo 2000-2014 se observó un incremento en el valor del mismo durante las fases La Niña tanto en la comunidad de Tolares como en los Esporales, y una disminución del índice NDVI durante el periodo monzónicos de fases El Niño.

REFERENCIAS

Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part I: Surface Climate. *Monthly Weather Review*, 116, 505-524.

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*, 22, 22-32.

Bertiller, M. B., Ares, J. O. and Bisigator, A. J., 2002: Multiscale Indicators of Land Degradation in the Patagonian Monte, Argentina. *Environmental Management*, 30, 704-715.

Braun Wilke, R. H., Santos E. E., Piccetti, L. P. E., Larran, M. T., Guzman, G. F. y Colarich C. R. 1991: Carta de aptitud ambiental de la provincia de Jujuy. Jujuy: Facultad de Ciencias Agrarias.

Braun Wilke, R. H., Villafañe, B. S. y Picchetti, L. E., 1995: Plantas de interés ganadero de Jujuy y Salta, Noroeste Argentino. Jujuy: Universidad Nacional de Jujuy, Secretaría de Ciencia, Técnica y Estudios Regionales.

Buitrago, L. G., 1999: El Clima de la Provincia de Jujuy. Ed. Facultad de Ciencias Agrarias, UNJujuy, IIa. Edición.

Burkart, R., Bárbaro, N. O., Sánchez, R. A. y Gómez, D. A., 1995: Eco-regiones de la Argentina. Programa Desarrollo Institucional Ambiental. Buenos Aires: Secretaria de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.

Cabrera, A. J., 1948: Notas sobre la vegetación de la Puna Argentina. *Anales de la Academia Nacional de C. E. F. y N. de Buenos Aires*, 12, 15-38.

Carlson, T. N. and Ripley, D. A., 1997: On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover and Leaf Area Index. *Remote Sensing of Environment*, 62, 241-252.

Chiew, F. H. S. and McMahon, T. A., 2009: Global ENSO-streamflow teleconnection, streamflow forecasting and interannual variability. *Hydrological Sciences Journal*, 47, 505-522.

Diaz, H. F., Hoerling, M. P. and Eischeid, J. K., 2001: ENSO variability, teleconnections and climate change. *International Journal of climatology*, 21, 1845-1862.

Francou, B. y Pizarro L., 1985: El Niño y la sequía en los Andes Centrales: (Perú y Bolivia). *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 14, 1-18.

Genin, D. y Alzerreca, H., 2006: Campos nativos de pastoreo y producción animal en la puna semiárida y árida andina. *Science et changements planétaires*, 17, 265-274.

Garreaud, R.D. and Aceituno, P., 2001: Interannual Rainfall Variability over the South American Altiplano. *Journal of Climate*, 14, 2779-2789.

- González M. and 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.
- Irisarri , J. G., Gundel, P. E., Clavijo, M. P., Durante, M. y Sosa, P., 2013:** Estimación de la PPNA y la capacidad de carga por ambientes mediante información satelital en un establecimiento ganadero en la Pampa Deprimida. *Revista Argentina de Producción Animal*, 33, 11-20.
- Liebmann, B., Marengo J.A. 2001:** Interannual Variability of the Rainy Season and Rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *J. Climate*, 14, 4308–4318.
- Maggi, A. E., Navone, S. M., & 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. Jujuy-Argentina, *Journal SELPER Edicion especial*. 2, 34-45.
- Minetti, J. L., Vargas, W. M., Hernández C. M., López, C. R., 2005:** El Clima del Noroeste Argentino-Cap. 3: La circulación regional estacional en Sudamérica-Su incidencia en el clima del NOA. Ed. Magna, 449 p.
- Minetti, J. L. and Vargas, W. M., 1997:** Trends and jumps in the anual precipitation in South America, south of the 15° S. *Atmósfera*, 11, 205-221.
- Navone, S. M. y Maggi, A. E., 2011:** Evaluación de la desertificación en Argentina. Buenos Aires: Gráfica Latina.
- Oesterheld, M., Dibella, C. M. y Herdiles, H., 1998:** Relation between NOAA-AVHRR satellite data and stocking rate in grasslands. *Ecological Applications*, 8, 207-212.
- Paruelo, J. M., Garbulsky, M. F., Guerschman, J. P. y Oesterheld, M., 1999:** Caracterización regional de los recursos forrajeros de las zonas templadas de argentina mediante imágenes satelitarias. *Revista Argentina de Producción Animal*, 19, 125-131.
- Quiroga Mendiola, M., 2004:** Highland grasslands in northwestern Andes of Argentina: vegetation structure and species composition in relation to grazing. *J.Mountain Research and Development*, 24 (3), 241- 248.
- Reboratti, C., 2006:** La situación ambiental argentina 2005. Buenos Aires: Brown, A., Martinez, U., Acerbi, M., y Corchera, J.
- Rivera J.A., Herrera N., Gulizia C.N., Montroull N.B., Spennemann P. 2009.** Identificación del comienzo de la estación lluviosa en la región subtropical de Argentina. *Actas de la XXIV Reunión Científica de la AAGG, Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas*, Buenos Aires. 1, 61-67.
- Ropelewsky, C. F. and Halpert, M .S., 1987:** Global and Regional Scale Precipitations Patterns Associated with the El Niño / Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115, 1606-1626.
- Ruthsatz, B. y Movia, C. P., 1975:** Relevamiento de las estepas andinas del noreste de la provincia de Jujuy. Buenos Aires: Fundación para la Educación la Ciencia y la Cultura.
- Schwinnig, S. and Sala, O. E., 2004:** Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. *Oecologia*, 141, 211–220.
- Sciortino, J. R. 1991:** La influencia de la corriente del Niño en eventos lluviosos extremos ocurridos en el norte de la provincia de Salta (inédito UNSa AGAS).
- Sellers, P. J., 1985: Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1335-1372.
- Trauth, M. H., Alonso, R. A., Haselton, K. R., Hermanns, R. L. and Strecker M. R., 2000:** Climate change and mass movements in the NW Argentine Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, 179, 243-256.
- Vargas W. M., Minetti J. and Poblete A., 1995:** Statistical study of climate Jump in the regional zonal circulation over South America. *Journal of the Meteorological Society of Japan*.73, 849-855.
- Vuille, M., 1999:** Atmospheric circulation over the Bolivian Altiplano during dry and wet periods and extreme phases of the southern oscillation. *International Journal of Climatology*, 19, 1579–1600.