

## La expansión de la Diagonal Árida Sudamericana como una consecuencia de las sequías

Juan L. Minetti<sup>1</sup>, Walter M. Vargas<sup>1</sup>, Arnobio G. Poblete<sup>1</sup>, Luis R. de la Zerda<sup>1</sup>, Mauricio C. Costa<sup>1</sup>, Leonidas R. Minetti<sup>1</sup>, Dario P. Ovejero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Climatológico Sudamericano, San Miguel de Tucumán, Argentina.

Autor para correspondencia: Juan L. Minetti, climaminetti@gmail.com

(Recibido: 25-05-2021. Publicado: 24-06-2021.)

### **Resumen**

*En las últimas décadas las precipitaciones medias de zonas áridas- semiáridas se han visto reducidas a valores normales o inferiores a estos, en un retorno hacia a condiciones climáticas más secas. Promedios inter decadales de precipitaciones están cayendo referidas al largo periodo lluvioso anterior, del 1950-2000. Impactos severos pueden advertirse en los ecosistemas agrícolas, comportamiento hídrico de cuencas superficiales y subterráneas, producciones agrícolas y otros no evaluados a la fecha, donde las transformaciones antrópicas realizadas se complementan con los cambios del clima. Se intenta mostrar en este trabajo algunos aspectos físicos y estadísticos del cambio ambiental de una extensa región árida - semi árida y su posible permanencia en el tiempo.*

**Palabras clave:** *Expansión, Diagonal Árida, Sudamérica.*

### **Abstract**

*In recent decades, average rainfall in arid-semi-arid zones has been reduced to normal values or lowers than these, in a return to drier climatic conditions. Inter-decadal averages of precipitation are falling relative to the previous long rainy period of 1950-2000. Severe impacts can be seen in agricultural ecosystems, water behaviour of surface and underground basins, agricultural productions and others not evaluated to date, where the anthropic transformations carried out are complemented by changes in the climate. An attempt is made in this work to show some physical and statistics aspects of the change in this extensive arid - semiarid region and its possible permanence in time.*

**Keywords:** *Expansion, Arid Diagonal, South America.*

## 1. Introducción

Largos periodo con excesos de precipitaciones ocurridos en el Sur de Sudamérica entre el Salto Climático positivo de la década de 1950 (Minetti y Vargas, 1998) culminando en el 2003 y la declinación de las precipitaciones a partir del 2004 (Minetti et al. 2019). Esto ha generado impactos de alto costo en las actividades antrópicas. Las precipitaciones más elevadas se registraron en la década de 1980-90 y la persistencia de estas ocurrían en el comienzo de la década del 2000 con la inundación rural-urbana de la cuenca del río Salado del Norte y ciudad de Santa Fe en Argentina (Minetti et.al.2005), donde el costo de vidas y recursos mostraron la impericia del Estado en el manejo de cuencas y servicios de Defensa Civil entre otros. En la zona rural Argentina en tanto ocurría otro fenómeno también producto de la ausencia del Estado con la eliminación de la estepa semiárida producto de la expansión agrícola sojera fuera de control (Acuña et al., 2004). Algunos de estos aspectos también han sido concurrentes con los incendios de bosques y manejo del agua subterránea (Villar Ezcurra, 2017), entre otros. La sequía de 1968-70 sobre la Cordillera Central ha mostrado que el manejo estatal del agua es posible. También la generación de conocimiento científico, tecnológico, creación de infraestructura académica para el manejo de cuencas (IANIGLA-CONICET, 2012), mejora de embalses, ejecución de proyectos hidro energéticos con la instalación de un sistema interconectado de energía (Wikipedia, 2020), han sido posibles con el objeto de evitar crisis regionales. Esta reacción fue una evolución estatal positiva del problema hídrico en el desierto. Más sobre el Centro-Norte de Argentina después de pasar varias décadas secas entre las dos Guerras Mundiales (1914-1950) la sociedad se motorizo en la construcción de diques y canales para resolver los problemas hídricos que se desvanecieron con el tiempo, con la llegada del Salto Climático lluvioso positivo de 1950. Sobraba el agua a partir de este año sobre el continente y abundaban los excesos con inundaciones, principalmente en tierras deprimidas (cuenas), y faltaban las sequias.

En el vecino país de Chile y piso superior de la Cordillera en Argentina, las sequias se acrecentaban y también las crisis regionales del Oeste árido. Paralelamente la expansión agrícola hacia el Norte y Oeste de la zona Central en Argentina marchaba en oposición al intenso proceso de sequía que se expandía de Norte a Sur en Chile. Las sequias del Oeste se tornaban más severas y persistentes desde la primera mitad del siglo pasado hacia el presente. La electrificación como solución hidro energética y la optimización del riego agrícola mostraban una faceta de ahorro importante en el desarrollo. A 50 años de la gran sequía de 1968-70 en Chile y Cordillera central Argentina, esta región registraba nuevas e intensas faltas de agua en la última década, donde el Cambio Climático por calentamiento global sería el motor causal de la misma. La tendencia negativa de las precipitaciones en la zona central de Chile asociada con 4 o 5 sequias en el llano oriental de Sudamerica, mostraron en la actualidad a un motor de fuerte impacto regional y mayor escala que esperamos dilucidar. El desierto es un ecosistema resultante de un clima árido-BW y semiárido BS (Koeppen W., 1948) inducido por la circulación descendente de la celda de Hadley sobre la banda de 20-30 grados de latitud N y S, (Poblete A.G., y Minetti J.L., et al, 2019). Esta zona árida se caracteriza por registrar menos precipitación anual y mensual, inferiores a las tasas de evaporación del periodo respectivo. La vegetación y suelos resultantes en esta banda seca es la correspondiente al monte árido achaparrado (bioclima xerófitico) , suelos polvorientos-salinos con activa erosión eólica (dunas). Si se trata del clima árido BW, y del bosque estepario xerófitico si corresponde a un clima semiárido BS. La ubicación geográfica de los desiertos como resultado de la interacción de circulación y topografía da un desierto especial llamado “diagonal árida Sudamericana” como bandas de escaso desarrollo longitudinal que se invierten con el cambio de latitud (diagonal). Esta diagonal árida ha estado afectada en las últimas décadas por cambios en la circulación atmosférica productos del Calentamiento Global (CG). Algunas evidencias de esto mostrarían a la expansión del desierto Argentino-Boliviano-

Chileno incluido en la diagonal árida Sudamericana.

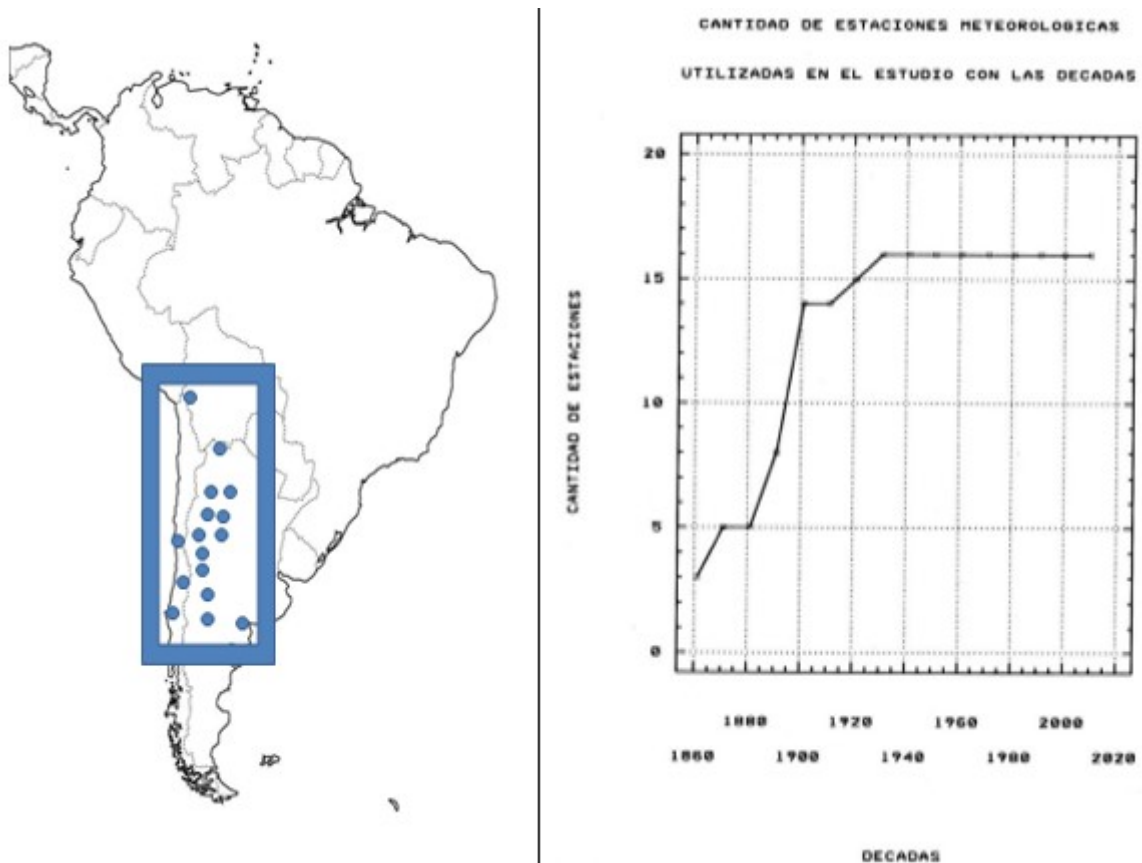
## 2. Metodología

Como el intento del trabajo incluye a la gran escala del clima, se han utilizado informaciones pluviométricas de periodos que exceden al siglo (secular), en términos anuales desde 1860 a la fecha. Estas series de datos provenientes de los servicios meteorológicos nacionales de tres países son escasas por sus limitantes, temporal (años) y distribución espacial de medidores (escasas) en zonas climáticas de baja densidad poblacional (Minetti J.L. y Radicella S.M., 1983). Las mismas ya fueron tratadas en el pasado para verificar sus homogeneidades absolutas y relativas (WMO, 1966) debidas a problemas existentes, presentes en series de datos por los cambios instrumentales, posicionamiento geográfico, métodos de observación, y otros (Hoffman, J.A.J, 1979). En todos los casos la información es oficial proveniente de estaciones meteorológicas. Los datos antiguos han sido publicados por el Instituto Smithsonian (1921, 1931, 1941) y NCAR-NOAA-USA en las décadas de 1940 en adelante. Todas las series de datos han sido actualizadas hasta el año 2020. El cuadro 1 proporciona información geográfica sobre las series de datos utilizadas en el análisis. En la figura 1 (izq.) puede advertirse que en el periodo tratado existen en la zona árida de una cantidad apreciable de estaciones meteorológicas que crecieron en las primeras 6 décadas. La figura 1 (der.) muestra el crecimiento con las décadas de la cantidad de estaciones meteorológicas con estacionamiento posterior a 1930.

Los índices de sequías anuales (figura 2) fueron obtenidos siguiendo la metodología propuesta por Minetti et. al., (2010) donde se establecen una cantidad de localidades con precipitaciones debajo de lo normal (mediana) en una región y por cada mes como índice de sequía mensual regional. El cociente entre la cantidad de localidades más secas que lo normal sobre la totalidad de localidades empleadas es un número que oscila entre 0 y 1 (0 sin sequía, 1 la totalidad de localidades con sequías). La suma de estos valores dan los índices de sequías anuales, número que oscila entre 0 y 12. Los índices de sequías anuales posteriormente fueron tratados como tendencias polinómicas de quinto grado y promedios móviles de once años para analizar a los cambios lentos y medios. En algunos casos se estimaron las autocorrelaciones y los espectros de la varianza para confirmar la existencia de las fluctuaciones largas del clima (Minetti et al. 2019). Se agrega la tendencia como polinomio de 5to.gr. (filtro de baja frecuencia) y promedio móvil de 11 años (filtro de media frecuencia). El inicio del índice de sequía anual es el año 1870, a partir del cual se analizaron las tendencias con cinco o más localidades. Se agregaron flechas hacia arriba o abajo indicando picos positivos o negativos de las principales fluctuaciones de largas y media frecuencia. En el caso de la posición latitudinal del anticiclón de Pacífico Sur sobre la costa de Chile (LSAP13), este ha sido estimado mediante el ajuste polinómico de grado tres de las presiones atmosféricas reducidas al nivel medio del mar desde Punta Arenas-Chile hasta el Ecuador. A cada ajuste mensual de tercer grado se estimaron los picos máximos del polinomio donde se estimaban sus posiciones latitudinales. Esta metodología ya fue utilizada por Minetti et al. (2009) en un análisis secular de esta variable. Una vez completada la estimación de los LSAP mensuales y anuales (LSAP13) se estimaron sus tendencias.

**Tabla 1:** Datos de las estaciones meteorológicas empleadas en el análisis.

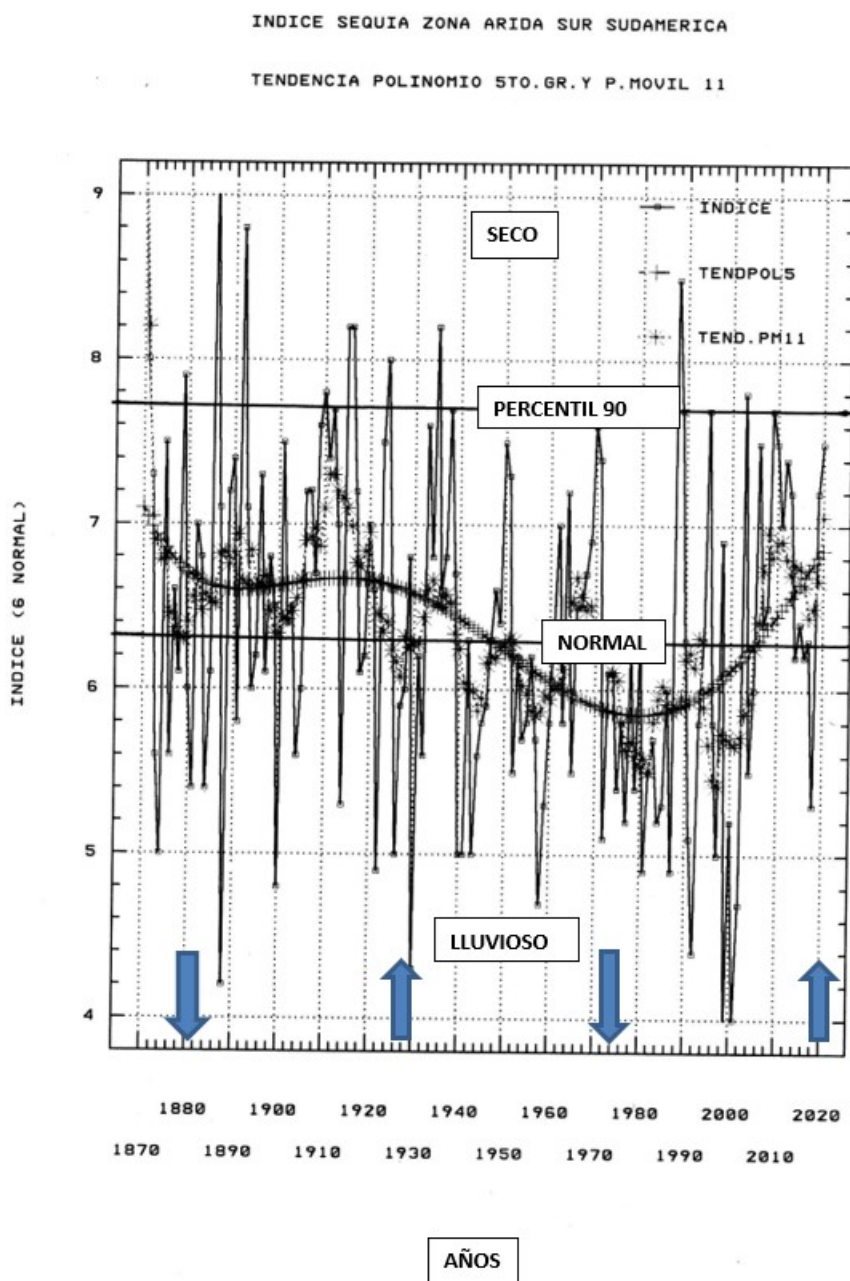
Nº	Nombre	Código	Inicio	Final	Posición geográfica
1	El Alto-La Paz/Bolivia	RVVPAZ	1898	2020	16° 30'S 68° 10'W
2	La Quiaca	RYQUI	1908	2020	22° 06'S 65° 36'W
3	S.F. Catamarca	RKCAT	1897	2020	28° 36'S 65° 46'W
4	Tinogasta	RKTIN	1903	2020	28° 04'S 67° 34'W
5	Chilecito	RFCHI	1902	2020	29° 10'S 67° 31'W
6	La Rioja	RFLAR	1904	2020	29° 23'S 66° 49'W
7	Chepes	RFCHE	1907	2020	31° 20'S 66° 36'W
8	S.J.Jachal	RJJAC	1931	2020	30° 15'S 68° 45'W
9	San Juan	RJJUA	1875	2020	31° 37'S 68° 32'W
10	La Serena-Chile	RCCSER	1869	2020	29° 54'S 71° 15'W
11	S. de Chile-Chile	RCCSGO	1866	2020	33° 27'S 70° 42'W
12	Mendoza	RMDOZ	1900	2020	32° 53'S 68° 52'W
13	San Rafael	RMRAF	1927	2020	34° 35'S 68° 24'W
14	Neuquén/Cipolletti	RQNEU	1900	2020	38° 56'S 68° 01'W
15	B.Blanca	RBBCA	1860	2020	38° 44'S 62° 10'W
16	Concepción-Chile	RCCCON	1876	2020	36° 46'S 73° 03'W



**Figura 1 (Izquierda):** Dieciséis localidades de la zona árida del Sur de Sudamérica utilizadas en este análisis dentro de la zona árida de la diagonal. **Figura 1 der:** Variación con las décadas de la cantidad de localidades utilizadas en el periodo 1860-2020.

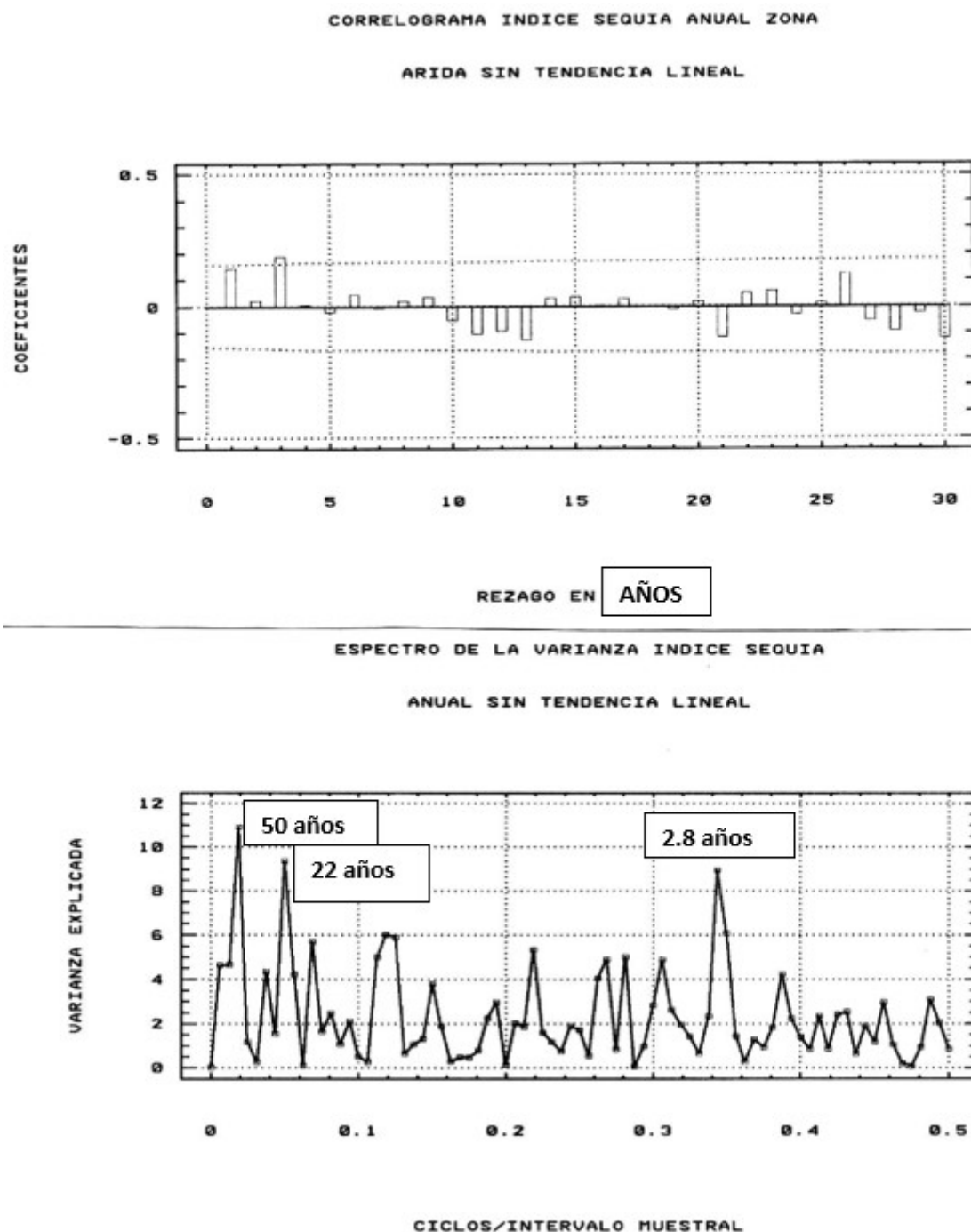
### 3. Resultados

En la figura 2 puede verse una tendencia secular con dos mínimos (1882 y 1980) correspondientes a periodos lluviosos de la zona árida y dos máximos en las secas históricas de 1930 y 2010. Mediante el uso del promedio móvil de once años se destacan periodos secos más acentuados en la primera mitad del siglo XX y lluvioso en la segunda mitad del mismo coincidentes alrededor de 1950 con un salto climático positivo en las precipitaciones descritas por Minetti y Vargas (1998). En este análisis se combinan las dos regiones de cambios largos de las precipitaciones con tendencias interanuales no-lineales opuestas, en ambas vertientes de la Cordillera (Minetti et al., 2003), pero se los incluye bajo el concepto común de aridez. También se puede ver el impacto ocasionado por las sequías posteriores a la inundación extensa del 2003 en los Bajos Sub Meridionales y ciudad de Santa Fe.



**Figura 2:** Índice anual de sequía para la zona árida de Argentina, Chile y Bolivia. Flechas para arriba seco, para abajo lluvioso.

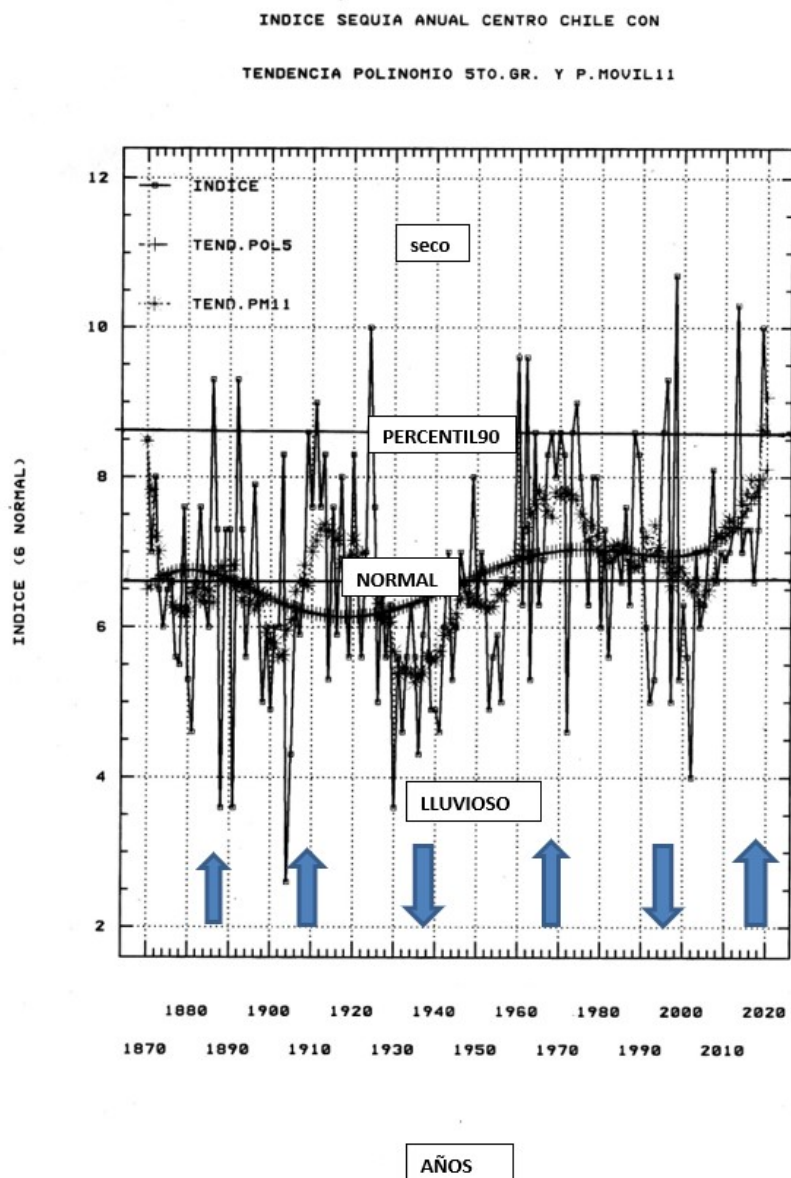
El correlograma de la figura 3 indica que la serie de índice de sequía anual posee actividad persistente hasta los tres años, además de una oscilación casi-periódica de 26 años con una inversión en los 13 años con escasa significación estadística. El análisis de la varianza muestra la presencia de oscilaciones más lentas de 50, y 22 años y otra más rápida de 2.8 años. Esta última con una persistencia importante podría estar conectada al ciclo ENSO.



**Figura 3:** Correlograma índice de sequía anual zona arida Sudamericana (arriba) y espectro de la varianza (abajo).

En la figura 4 del índice de sequía del centro de Chile, puede verse un cambio lento de unos 50 años (PDO) (Mantua y Hare, 2002) y 90 años como variación secular y la de 22 años, como

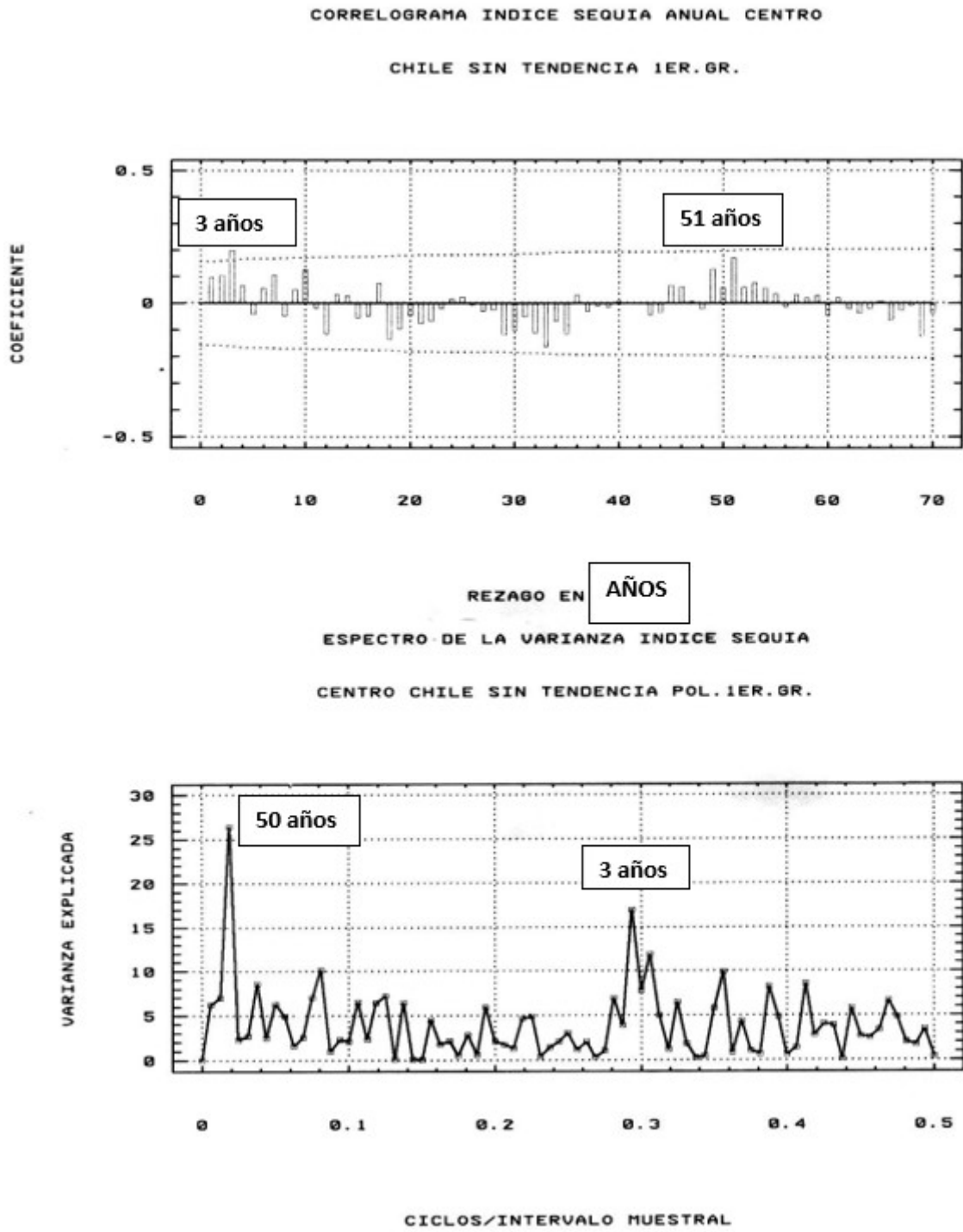
variación bidecadal (Agosta 2014). Mientras que el primero ha sido confirmado en casi todas las series pluviométricas (Minetti et al., 2019) afectadas por el calentamiento global, las otras series de más baja longitud tendrían que ver con la PDO (50 años), AMO (70 años) y onda larga solar (80 años), Estos cambios largos pueden verse también en el posicionamiento de los valores anuales de los índices de sequías y su valoración percentilica mostrada en la figura 2. El correlograma de la figura 4 indica que la serie de índice de sequía anual posee actividad persistente hasta los tres años, además de una oscilación casi-periódica de 26 años con una inversión en los 13 años. El análisis de la varianza muestra la presencia de oscilaciones más lentas de 50, y 22 años y otra más rápida de 2.8 años. Asimismo puede verse un cambio lento de unos 90 años como variación secular y la de 22 años como variación bidecadal (Agosta 2014). Mientras que el primero ha sido confirmado en casi todas las series pluviométricas (Minetti et al., 2019) afectadas por el calentamiento global, las otras series de más baja longitud tendrían que ver con la PDO (50 años), AMO (70 años) y onda larga solar (80 años), todas ellas de difícil análisis en el periodo instrumental por la escasa longitud de las series.



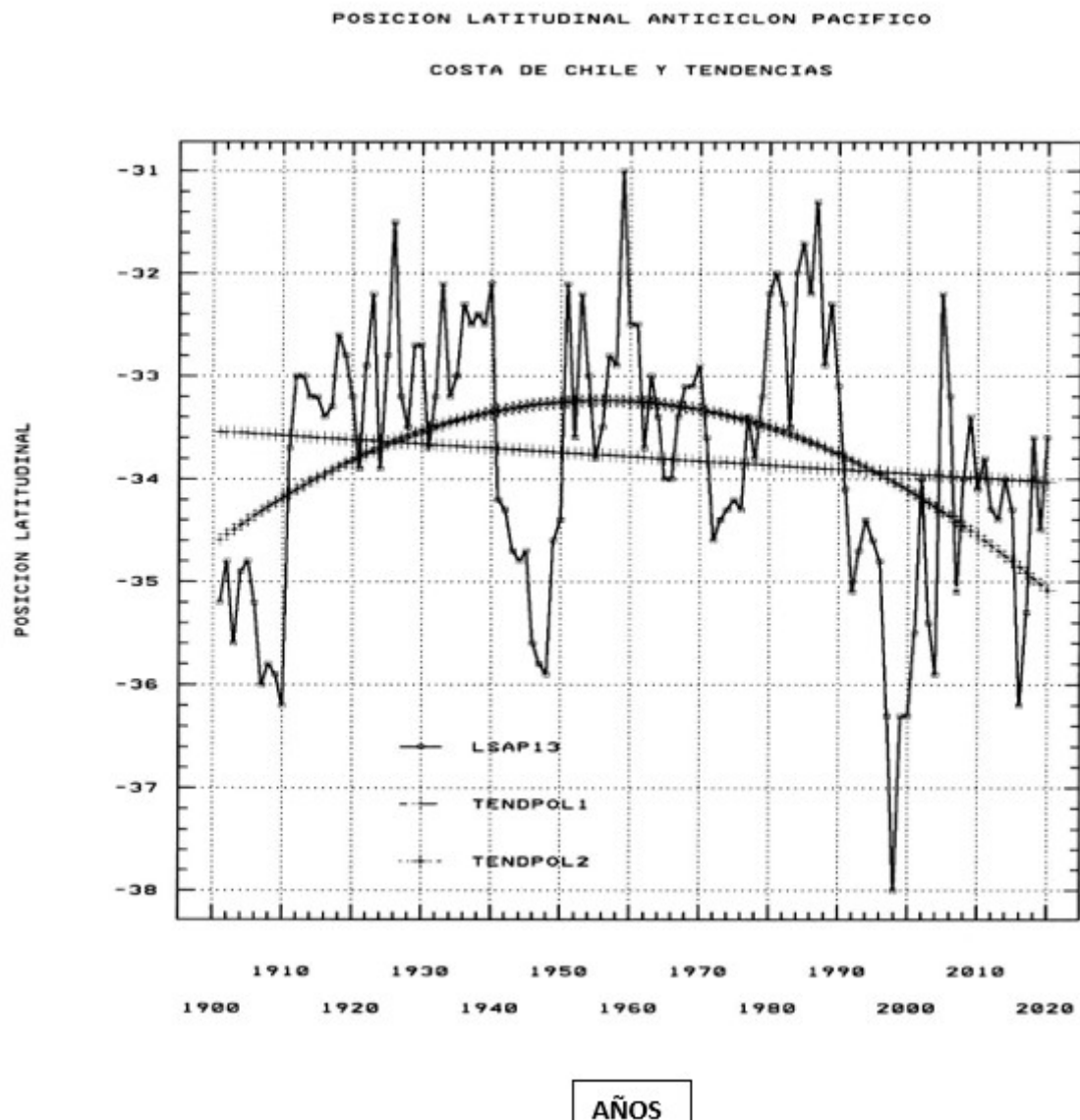
**Figura 4:** Índice de sequía interanual con datos del centro de Chile. Tendencia (polinomio grado 5) y oscilación media (promedio móvil 11 años).

La figura 5 está representando al correlograma y espectro de la varianza con cambios largos de 50-70 años, como el propuesto por Thomas y Sumant (2018) en el estudio sobre la expansión del desierto. También se ven que no existen coincidencias entre los espectros de las varianzas de la totalidad de la región sudamericana con solo Chile central. Otra oscilación de 3 años estaría indicando la interacción de la precipitación con el ENSO, Garreaud, 1999; Minetti et.al. 2010). Las oscilaciones largas del índice de sequía mostrarían a la persistencia de extensas condiciones lluviosas favorables para la agricultura o secas desfavorables, incluyendo en estas últimas a los impactos en la degradación de suelos como la erosión eólica, incendios forestales (Mendoza, E. y Minetti, J.L. 2004, Folguera, G., 2020), ascenso o descenso de napas freáticas (Nosetto, 2009). En el caso de persistencia seca en Chile central mostrada en la figura 4, ya van casi un siglo de marcha hacia la expansión seca simultánea con la expansión de otros desiertos subtropicales del planeta (Thomas N. y Sumant Nigam, 2018). El impacto entre el calentamiento global con la expansión del desierto puede verse de dos maneras, la primera a través del aumento de intensidad en la actividad anticiclónica al crecer la circulación descendente de la celda de Hadley (Poblete y Minetti, 2015), y la segunda es con un aumento en el área anticiclónica subtropical menos favorable de evaluar. En este último caso el aumento areal se lo ha estimado por un desplazamiento hacia latitudes altas de la posición del anticiclón subtropical (LSAP13) mostrado por Minetti et al, (2009), con un pequeño cambio latitudinal de 1.8 grados, en medio siglo. La figura 6 está mostrando la variabilidad interanual de la posición geográfica del anticiclón subtropical sobre la costa de Chile (LSAP13), con sus tendencias seculares de 1er y 2do grado. Con el calentamiento global (CC) las posiciones más australes del LSAP13 (anuales) tendrían que ver con la tendencia de los LSAP13 hacia latitudes altas, solo mensurables en la segunda mitad del siglo pasado y no justificable en la primera mitad del mismo. En el caso de la tendencia del LSAP13 puede confirmarse un cambio latitudinal de la posición anticiclónica anual, casi 200 Km hacia el Sur, coincidentes con el calentamiento global, pero no en la primera mitad del siglo pasado. Esto estaría en oposición entre el comportamiento físico-estadístico. El secado de la segunda mitad del siglo pasado tendría que ver con la aridización del desierto de Sahara comentado en África por Thomas y Sumant Nigam (2018) y en el centro de Chile por Garreaud (2019) como mega sequía en Chile, la peor de la historia en la última década.





**Figura 5:** Correlograma (arr.) y espectro de la varianza (aba.) del índice de sequía interanual del centro de Chile.



**Figura 6:** Índice latitudinal de posición del anticiclón subtropical en la costa de Chile (LSAP13), Hemisferio Sur, tendencias lineal (primer grado) y polinómico de 2do. grado.

### 3. Conclusiones

Se observa una tendencia hacia condiciones secas en los últimos 30 años sobre la región árida-semiárida del Sur de Sudamérica como un proceso de expansión seca en ambos márgenes de la Cordillera andina. El cambio de la posición latitudinal del mismo como generado por el cambio latitudinal del gradiente térmico global estaría justificando al cambio sobre Chile Central en la segunda mitad del siglo pasado. Los cambios de largo plazo al oriente de la Cordillera tendrían un origen diferente justificado por el salto climático de la década de 1950 seco-lluvioso y uno nuevo invertido en 2003 como lluvioso-seco. Los motivos causales de este escapan de la escala del periodo instrumental para su justificación, presentándose en oscilaciones PDO, AMO, OSS, etc. Los cambios de largo plazo del clima estarían entre los responsables de impactos en los ecosistemas terrestres, erosión, incendios forestales, comportamiento de napas freáticas, escurrimientos superficiales de ríos, lagunas y humedales entre otros.

#### 4. Agradecimientos

A todos los Servicios Meteorológicos de los países involucrados que midieron por más de un siglo a las precipitaciones, y las Instituciones que acumularon y publicaron sus resultados. Al Laboratorio Climatológico Sudamericano que compilo y construyo una base de datos para tratar los datos de precipitaciones mensuales y anuales en las regiones involucradas en esta evaluación.

#### Referencias bibliográficas

Acuña, Minetti LJ, Angueira C (2004): La expansión agrícola y clima asociado. Actas X Reunión Argentina de Agrometeorología.

Agosta S, EA (2014): The 18.6 year nodal tidal cycle and the bi-decadal precipitation oscillation over the plains to the east of subtropical Andes, South America.

Folguera G (2020): Incendios, el escenario general de sequía hace que el fuego sea imparable. 5 Octubre 2020. Bs.As. 12 pp.

Garreaud R (1999): Variabilidad interanual (ENSO) e interdecadal (similar a ENSO) en la circulación troposférica del hemisferio sur. *J. of Climate* 12, 7:2113-2123.

Garreaud R (2019): Los diez años más secos de Chile. Dpto. de Geofísica de la Universidad de Chile.

Hoffmann JAJ (1979): Características de las series de precipitaciones de la República Argentina. *Meteorológica*, 1:166-1990.

IANIGLA-CONICET (2012): El Instituto Argentino de Nivología y Glaciología, celebro los 40 años de su creación ocurrida en 1972.

Koepfen W (1948): Climatología. Fondo de Cultura Económica. 478 pp.

Mantua JN, Hare SR (2002): The Pacific Decadal Oscillation. *Jou. Oce.*, 58:35-44.

Mendoza EA Minetti JL (2004): Posibles causas de los incendios forestales de la selva montana del Noroeste Argentino. *IGA-Rev. De Geo.*, 8:52-58.

Minetti JL Radicella SM (1983): La información hidroclimatologica de la zona árida Argentina. CIRSAJ-CONICET. Inf.Tec. N°2. San Juan.

Minetti JL, Nougues Paegle J, Vargas WM, Poblete AG, Figueroa F (2005): Inundación de Santa Fe en Abril del 2003. Procesos climáticos e hidrológicos coadyuvantes. Buenos Aires, CONGRESO MET IX. Reunión: Congreso; CONGREGMET IX; 2005.

Minetti JL, Vargas WM, Poblete AG, Mendoza EA (2009): Latitudinal positioning of the subtropical anticyclone along the Chilean coast. *Australian Met. and Ocean. Jou.*, 58:107-117.

Minetti JL, Poblete AG, Vargas WM, Bobba ME (2010): Regional drought in the southern of South America. Physical aspects. *Rev. Bras. De Met.*, 25:88-102.

Minetti JL, Ovejero DP, Vargas WM (2019): Trends in drought indices on the tropical-subtropical región and its correlation with the global warming. *Rev. de Clim.*, 19:1-16. AEMET.

NCAR-USA: 1951. World Weather Records 1951-60 decade en adelante.

Nosetto MD, Jobbágy EG, Jackson RB, Sznajder GA (2009): Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Research* 113, (2009):138-148.

Poblete AG Minetti JL (2015): El calentamiento global y su posible influencia en la disminución de las precipitaciones en las regiones subtropicales del Hemisferio sur. *Rev. de Geografía Meridiano*, 4:161-178.

Smithsonian Institution, 1929: World Weather Records. 1194 pg. USA.

Thomas N, Sumant Nigam, 2018: Twentieth-Century Climate over Africa: Seasonal Hydroclimate Trends and Sahara Desert Expansion. *J.Climate*, 31:3349-3370.

Villar Ezcurra J (2017): Por que suben las napas: Son las lluvias, es la soja? . Art. Divulgacion. INTA Rafaela.

Wikipedia (2020): Sistema argentino de interconexión de energía.

WMO: World Meteorological Organization. 1966: Climate Change. 79 pp.