

## **EL CALENTAMIENTO GLOBAL Y SU POSIBLE INFLUENCIA EN LA DISMINUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN LAS REGIONES SUBTROPICALES DEL HEMISFERIO SUR<sup>1</sup>**

Arnobio Germán Poblete\*

Juan Leonidas Minetti\*\*

### **Resumen**

Actualmente la comunidad científica internacional investiga si la sequía mundial que se está registrando es inducida por el calentamiento global.

Varios autores teniendo en cuenta los registros históricos de precipitación, el cambio del flujo de humedad en la escala planetaria y los índices de sequía que muestran un aumento de la aridez desde 1950 en numerosas regiones, sugieren déficit hídricos severos y generalizados en los próximos 30-90 años sobre muchas de ellas, resultantes de la disminución de las precipitaciones y/o aumento de la evaporación.

En ese marco, las regiones de Cuyo y Chile Central están sufriendo las consecuencias de una sequía nival en los Andes Áridos, que se inicia en 2009 agudizándose en 2010 con temporadas hídricas deficitarias hasta 2014.

Este trabajo se propone encontrar posibles asociaciones entre los factores que provocan la misma, con los procesos de disminución de las precipitaciones en las regiones australiana y sudafricana; además evaluar la significación del índice de Sequía del Hemisferio Sur elaborado por los autores, por su posible relación con la activación de la celda de Hadley y de

---

<sup>1</sup> Se agradece a la Universidad Nacional de San Juan y la ANCYT, PICTO- UNSJ-2009-0150-BID, por sus aportes económicos en el desarrollo de este trabajo y “Análisis climatológico-dinámico de la crisis hídrica de los últimos años en cuyo y chile central en el contexto del cambio climático global”. Cod. F994/FFHA, Res.:18/14-CS-UNSJ. CICITCA-UNSJ.

\* Profesor titular Exclusivo de la Universidad Nacional de San Juan, Avenida Rioja 1110 (N) San Juan. C.P 5400 – Argentina. Correo electrónico: [agpoblete@gmail.com](mailto:agpoblete@gmail.com)

\*\* Investigador principal de la Universidad Nacional de Tucumán, Padre Roque Correa 1.237 S.M. de Tucumán. CP 4000. Correo electrónico: [minettil@arnet.com.ar](mailto:minettil@arnet.com.ar)

esta manera concatenar la mayoría de los componentes que constituyen el escenario hidroclimático en donde se encuentran insertas dichas regiones.

**Palabras clave:** Calentamiento Global; Sequía Mundial; Índice de Sequía; Andes Áridos-Australia- Sudáfrica.

## **Abstract**

Currently the international scientific community investigating whether the world is being recorded drought is induced by global warming.

Several considering the historical records of precipitation, changing the flow of moisture in the planetary scale and drought indices showing an increase since 1950 in many arid regions, authors suggest severe and widespread water shortages in the next 30- 90 years on many of them, resulting from reduced precipitation and / or increased evaporation.

In this context, the regions of Cuyo and Central Chile are suffering the consequences of drought in arid snowy Andes, starting in 2009 deficit to worsen in 2010 with water seasons until 2014.

This paper aims to find possible associations between factors that cause the same, with the processes of decreased precipitation in the Australian and South African regions; also assess the significance index Drought Southern Hemisphere developed by the authors for their possible relationship with the activation of the Hadley cell and concatenate this way most of the components that make up the hydro-stage where those regions are embedded.

**Keywords:** Global Warming; World Drought Drought Index; Arid Andes-Australia-South Africa.

## **Introducción**

Actualmente la comunidad científica internacional investiga si la sequía mundial que se está registrando es inducida por el calentamiento global: “Los registros históricos de precipitación, el cambio del flujo de humedad en la escala planetaria y los índices de sequía muestran aumento de la aridez desde 1950 en numerosas regiones [...] que sugieren déficit hídricos severos y generalizados en los próximos 30-90 años sobre muchas de ellas,

resultantes de la disminución de las precipitaciones y/o aumento de la evaporación” (DAI, 2012).

En ese marco, las regiones de Cuyo y Chile Central están sufriendo las consecuencias de una sequía nival en los Andes Áridos, que se inicia en 2009 agudizándose en 2010 con temporadas hídricas deficitarias hasta 2014.

Los autores han estudiado este problema desde distintos enfoques hidroclimáticos, verificando que los principales factores que inciden en la nevadas, de acuerdo a Poblete (2013, 2014), son: Temperaturas Superficiales del Mar (SST) en el área “Niño 3+4” (SSTN3+4), intensidad (PSGO) y posición latitudinal (LSAP) del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur Oriental (ASPSO), Oscilación Decadal Pacífica (PDO), Vientos del Oeste (Westerlies), presión en el Centro de Argentina, Fluctuación Subtropical Bidecadal (FSB), Gradiente de Presión Transcordillerano (IT) y otros de menor significación. Sin embargo, creen necesario profundizar el comportamiento de dichos forzantes en el corto, mediano y largo plazo; y si los mismos están relacionados espacialmente con regiones remotas localizadas en el cinturón de los anticiclones subtropicales hemisféricos ubicadas en Australia y Sudáfrica, implementando como integrador un índice de sequía del hemisferio sur (ISQHS) que los autores demostraron está relacionado con la expansión/activación de la celda de Hadley que sería producida por el Calentamiento Global (HU; FU, 2007; LU *et al.*, 2007 y MINETTI *et al.*, 2010, 2014).

El régimen hídrico de Chile Central y Cuyo depende de factores propios de las escalas: planetaria, hemisférica y sinóptica; y mecanismos precipitantes (paso desde el Océano Pacífico hacia el Este de sistemas frontales, bajas segregadas en superficie y vaguadas en altura, entre otros) dependientes de aquellos y modificados por la cordillera que altera el flujo zonal (VIALE, 2010). Sin embargo las regiones subtropicales de Australia y Sudáfrica están influenciadas por otros factores además de los que condicionan a los Andes Áridos, tales como: Radiación Saliente en Onda Larga (OLR), Oscilación Multidecadal Atlántica (AMO), estado térmico del océano Atlántico (TIRIO), Oscilación Antártica (AAO o SAM), Oscilación del Sur (SOI), Dipolo del océano Indico (DOI o DMI), Oscilación del Atlántico Norte (NAO), Temperatura del Atlántico Subtropical (TSA), Atlántico norte tropical (TNA) y fundamentalmente la expansión/activación de la celda de Hadley estudiada por los autores, estimándola con el comportamiento de la temperatura global (TG) ( DIAZ; BRADLEY, 2004) (ver Figura).

Investigadores como Masiokas *et al.* (2006) y Quintana y Aceituno (2012) postulan que los factores de gran escala conducen la variabilidad interanual de otras menores. Poblete y

Minetti (2015) sostiene que en el caso de los Andes Áridos la PDO es la única que se muestra coherente y en fase, en las ondas largas en todo el período 1909-2012, mientras que tanto en las SSTN3+4, como en el PSGO lo hacen en las frecuencias medias y altas. Tomando en cuenta el análisis anterior, se podría inferir que los factores considerados están contribuyendo en distintas longitudes de onda a que la actual sequía que soportan Cuyo y Chile central se prolongue, con eventuales superávits en el rango de las frecuencias de los segundos. Al incluir en el análisis las regiones de Australia y Sudáfrica ubicadas en el cinturón de los anticiclones subtropicales, se pretende encontrar similitudes y/o diferencias con las primeras, los factores que las originan y fundamentalmente cuales de estos son los que influyen en las tres simultáneamente.

En resumen, este trabajo se propone encontrar posibles asociaciones entre los factores que inciden en la caída de nieve de los Andes Áridos con los procesos de disminución de las precipitaciones en las regiones australiana y sudafricana. Además evaluar la significación del índice de Sequia del Hemisferio Sur que se describe en (POBLETE; MINETTI, 2015), por su posible relación con la activación de la celda de Hadley y de esta manera concatenar la mayoría de los componentes que constituyen el escenario hidrológico en donde se encuentran insertas dichas regiones.

## 1. Datos y métodos



Figura 1. Ubicación de la región en estudio y los índices que influyen en las precipitaciones de las regiones subtropicales del Hemisferio Sur. Esquina derecha: ubicación del río San Juan (en rojo)

### 1.1. Datos

Para realizar este estudio se utilizaron los registros de los derrames anuales del río San Juan, es decir el total del agua acumulada durante el período abril-septiembre y escurrida en el estío, debido a que serán usados para representar a la precipitación nival acumulada en los Andes Áridos, estos fueron aportados por el Departamento de Hidráulica de la Provincia de San Juan y la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2014) <<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar/sitioweb/frmInicial.aspx>>. Las precipitaciones de Australia se obtuvieron del <<http://www.bom.gov.au/cgi-bin/climate/>>, mientras que las de Sudáfrica del sitio <<http://www.cape-town.climatemps.com/precipitation.php>>.

Los registros de las SSTN3+4 fueron obtenidos del sitio <[http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/Nino\\_3\\_3.4\\_indices.html](http://www.cgd.ucar.edu/cas/catalog/climind/Nino_3_3.4_indices.html)>, mientras que los del PSGO recopilados de diversas fuentes tales como: La Dirección Meteorológica de Chile con el índice llamado IPPS, Laboratorio Climatológico Sudamericano sede NOAA, y principalmente la presión en Santiago de Chile (PSGO), (DMC, Dirección Meteorológica de Chile), (MINETTI *et al.*, 2009) y otros sitios web. Los de la PDO descargados de <<http://jisX2.washington.edu/pdo/>> y <<http://www.noaa.gov/>> (NOAA, 2014), los de la temperatura global (TG) de la NASA (<<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>>), mientras que los otros índices fueron obtenidos del sitio <<http://stateoftheocean.osmc.noaa.gov/sur/atl/tna.php>>.

### 1.2. Metodología Empleada

#### *Índice de sequía*

El Índice de sequía del hemisferio sur (ISA), se calcula a partir de índices mensuales (ISM) y anuales (ISA) propuestos por Minetti *et al.* (2009), empleando los datos pluviométricos de una red de estaciones meteorológicas ubicadas en latitudes medias del HS, afectadas principalmente por el desarrollo de los anticiclones semipermanentes (ver Figura 1). Proviene principalmente de Chile Central (CH), Australia (AU) y Sudáfrica (SA), con cinco localidades en cada región, todas ellas proporcionadas por los servicios meteorológicos respectivos desde el año 1909 hasta 2012, (ver Figura 2 y Cuadro 1).

El ISM fue computado para todos los meses en las localidades descritas en la Figura 2 y Cuadro 1, por debajo de su valor mediano, respecto del total de las mismas, oscilando entre 0 y 1 con un valor central de 0.5. El ISA (anual) resulta de la sumatoria de aquellos y oscila entre 0 y 12 con valor central de 6. Mientras que el índice de sequía para el periodo

nival (ISQHS-AS) se calcula promediando los índices mensuales comprendidos entre abril-septiembre. Todos han sido consistidos en Sudamérica con información de precipitaciones de una grilla proporcionada por el Reanalysis I (ver Figura 3). Los ISA e ISQHS-AS del cinturón de los anticiclones subtropicales del HS y en particular para cada subregión (CH, AU y SA) han sido analizados en el largo plazo como tendencias ajustadas por polinomios de 5to. grado con el método de mínimos cuadrados ordinarios (Ecuación 5) y medias móviles (Ecuación 6) (WMO, 1969) que se describen más adelante.

Mediante el Reanalysis del NCEP/NCAR se valida el ISQHS-AS tal cual lo muestra la figura 3, en la que se aprecia que hay una correlación inversa en los tres continentes entre dicho índice y el ratio de precipitación en el período abril-septiembre desde el año 1948 hasta 2012, lo que confirma su representatividad.

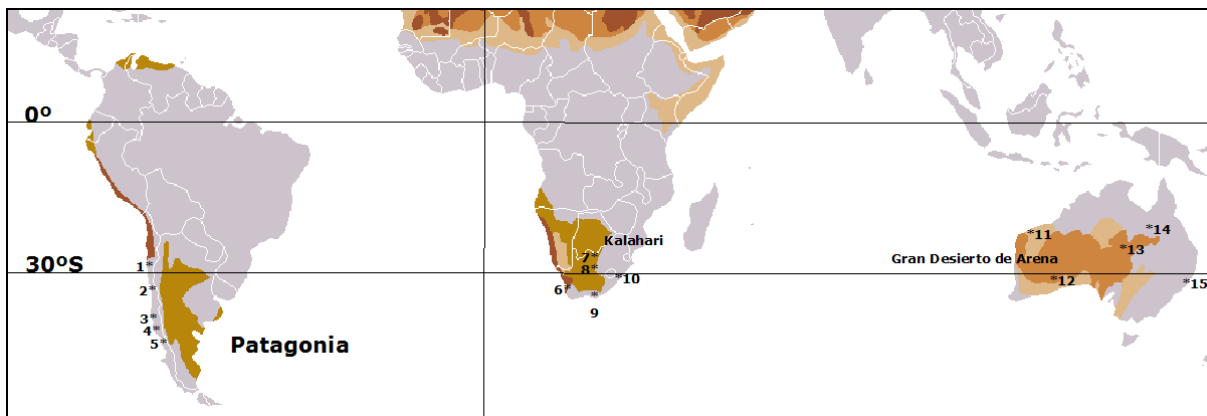


Figura 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para la estimación de los ISA regionales o totales (el número asociado al nombre de la localidad se muestra en la tabla 1)

Número orden	Continente	Localidad	Laitud	Longintud	Elevación (m)
1	Sud América	La Serena	29.9S	71.2W	32
2		Santiago Chile	33.4S	70.7W	520
3		Concepción	39.5S	73.0W	15
4		Valdivia	41.2S	73.2W	5
5		Puerto Montt	34.0S	72.6W	110
6	África	Cape Taown	26.2S	18.2E	56
7		Johannesburg	28.8S	28.1E	1.676
8		Kimberley	33.9S	24.7E	1.196
9		Puerto Elizabeth	29.8S	25.6E	58
10		Durban	29.8S	31.0E	12
11	Australia	Onslow	21.1S	115.9E	11
12		Kalgoorlie	30.9S	121.1E	427
13		Alice Spring	24.5S	133.2E	432
14		Cloncurry	20.7S	140.5E	200
15		Sydney	33.8S	151.2E	39

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas utilizadas para la estimación de los ISA regionales o totales. Su ubicación se muestra en la figura 2

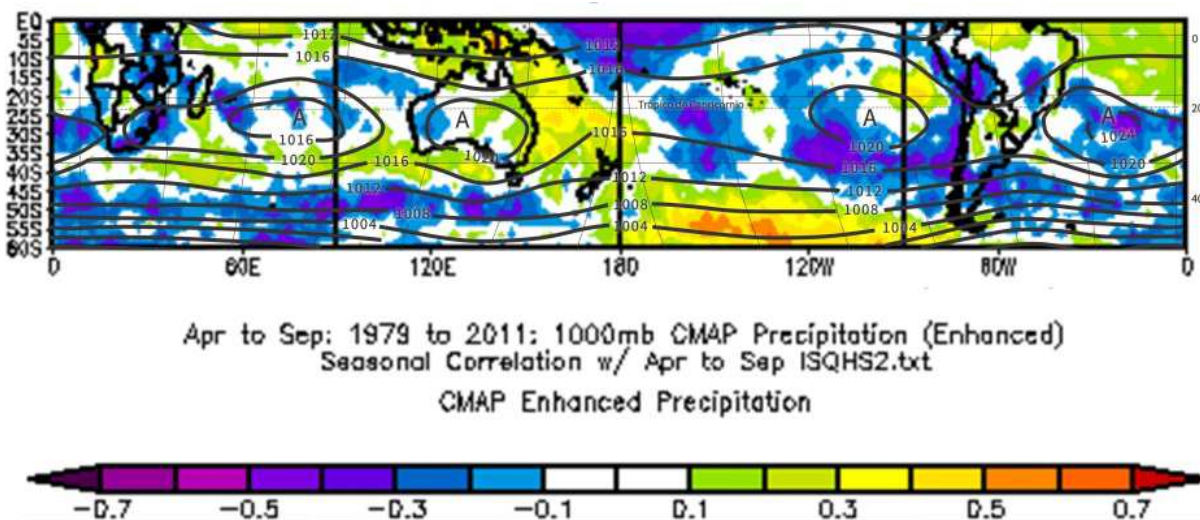


Figura 3. Validación mediante el Reanalysis del índice de sequía del Hemisferio Sur para el período abril-septiembre

### Variable estandarizada

Que mide la desviación de cada dato respecto de la media en unidades de desviación típica.

La nueva variable: 
$$z_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S} \quad (1)$$

Con  $z_i$  la variable estandarizada obtenida de los N valores de x cuya media ( $\bar{X}$ ) y desviación típica (S), tienen una vez tipificadas, una media =0 ( $\bar{Z} = 0$ ) y desviación típica =1 ( $S_z=1$ )

### Análisis de correlación

Para el estudio de la relación entre las series se aplicó el coeficiente producto-momento de Pearson, cuyo algoritmo es:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})}{s_x} \frac{(y_i - \bar{y})}{s_y} \quad (1)$$

Donde n= número de datos,  $x_i$  es el dato en la posición i, con medias de las dos series,  $S_x$ , S y desviaciones estándar de las variables x e y.

### Ajuste polinómico por MCO (mínimos cuadrados ordinarios)

Se obtiene el polinomio de grado n:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (4)$$

Donde y es la variable dependiente, x la independiente y los  $a_i$  son los coeficientes a determinar mediante las siguientes ecuaciones normales:

$$\begin{aligned} na_0 + (\sum x_i)a_1 + (\sum x_i^2)a_2 + \dots + (\sum x_i^n)a_n &= \sum y_i \\ (\sum x_i)a_0 + (\sum x_i^2)a_1 + (\sum x_i^3)a_2 + \dots + (\sum x_i^{n+1})a_n &= \sum y_i x_i \\ \dots\dots\dots \\ (\sum x_i^n)a_0 + (\sum x_i^{n+1})a_1 + (\sum x_i^{n+2})a_2 + \dots + (\sum x_i^{2n})a_n &= \sum x_i^n y_i \end{aligned} \quad (5)$$

(DRAPER; SMITH, 1998)

*Medias móviles*

Que consisten en una serie de medias aritméticas (simples o ponderadas) calculadas a lo largo del tiempo para un período de duración seleccionado L. O sea:

$${}_L\bar{Y}_i = \frac{1}{L} \sum_{t=(i-L)/2}^{(i+L)/2} Y_{i+t} \quad (6)$$

Nótese que lo ideal es que L sea impar para que la media móvil  ${}_L\bar{Y}_i$  este centrada en el período  $t_k$  donde k es el subíndice correspondiente a la misma. Los datos que se pierden son los (L-1)/2 primeros y los (L-1)/2 últimos de la serie

(Montgomery and Johnson, 1976)

Y para el análisis espacial el Reanalysis I del NCEP/ NCAR de la NOAA de los EE.UU.

*Cluster análisis*

Consiste en técnicas multivariantes utilizadas para clasificar a un conjunto de individuos en grupos homogéneos. En el análisis *cluster* los grupos son desconocidos a priori, por lo que se pretende saber en qué medida las variables disponibles discriminan esos grupos y pueden ayudar a clasificar o asignar los individuos en/a subgrupos dados, por lo tanto, tiene un marcado carácter exploratorio. Los datos de partida del análisis son las observaciones de n variables y N individuos (EVERITT *et al.*, 2001).

*Distancia Euclídea o Euclidiana*

La distancia euclídea es la medida de disimilitud más conocida y sencilla de comprender, pues su definición coincide con el concepto de distancia. Su expresión es la siguiente:

$$d(i, j) = \sqrt{(|x_{i_1} - x_{j_1}|^2 + |x_{i_2} - x_{j_2}|^2 + \dots + |x_{i_p} - x_{j_p}|^2)} \quad (7)$$



A partir de los índices de similitud o disimilitud como por ejemplo la DE se genera un gráfico de árbol o dendrograma que es una representación en la cual el investigador puede tener de una manera resumida la ligazón y la estructura que presentan los grupos identificados (EVERITT, 1981).

### *Método de Ward*

Se basa en que la pérdida de información que se produce al integrar los distintos individuos en clusters puede medirse a través de la suma total de los cuadrados de las desviaciones entre cada punto (individuo) y la media del conglomerado en el que se integra. Para que el proceso de clusterización resulte óptimo, en el sentido de que los grupos formados no distorsionen los datos originales, propone la siguiente estrategia: en cada paso del análisis, considerar la posibilidad de la unión de cada par de grupos y optar por la fusión de aquellos dos que menos incrementen la suma de los cuadrados de las desviaciones al unirse (WARD JUNIOR, 1963).

## 2. Resultados y discusión

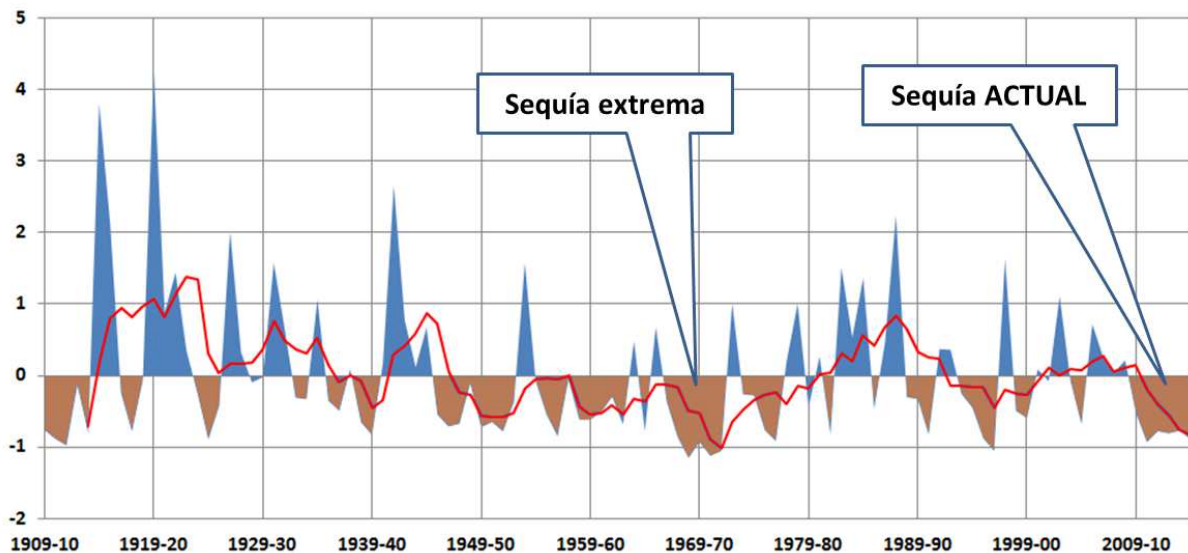


Figura 4. Derrames anuales del río San Juan estandarizados desde 1909 hasta 2014. Obsérvese las rachas secas y húmedas

Fuente: elaboración propia.

Se decide mostrar a través de localidades representativas, el estado actual de la hidroclimatología de los Andes Áridos, suroeste de Australia y Sudáfrica con el objeto de situar el análisis espacial y temporalmente, para facilitar la detección de las similitudes y/o

diferencias entre las regiones afectadas por los anticiclones subtropicales en dichos continentes, en función de los principales factores atmosféricos, oceánicos y de la cupla océano-atmósfera, que influyen en sus precipitaciones invernales, y posibles teleconexiones.

La Figura 4 muestra los derrames anuales del río San Juan estandarizados, se aprecia que los años con déficit tienen mayor persistencia que los con superávit, sin embargo estos son de mayor magnitud. Obsérvese la duración de la sequía de los últimos años que comienza aproximadamente en 2009 y perdura hasta 2014.

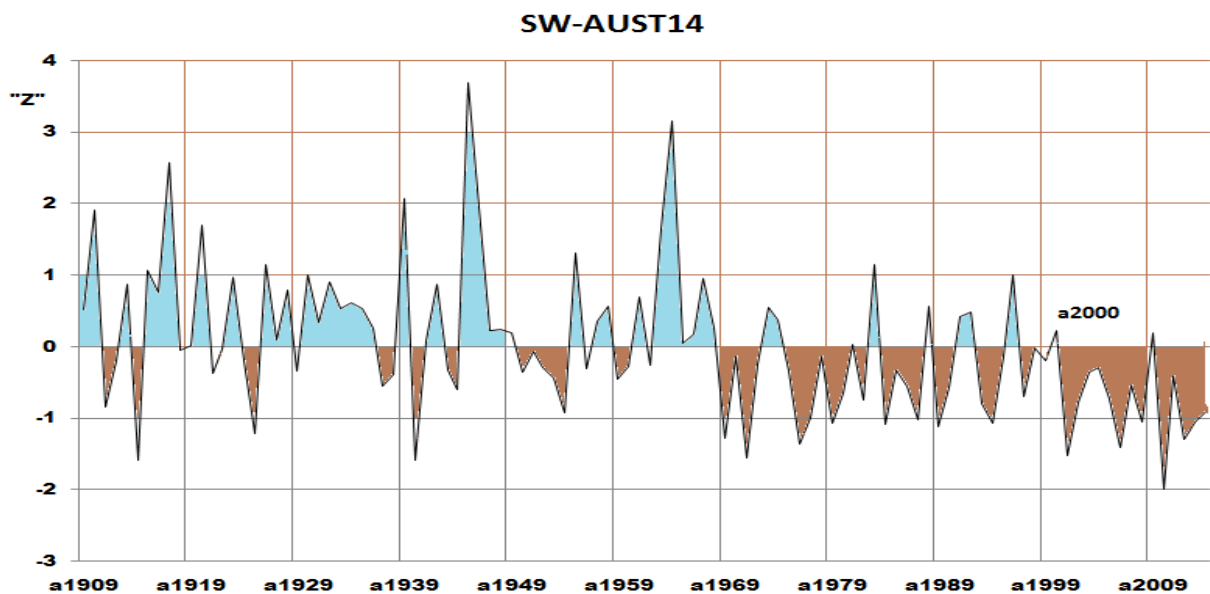


Figura 5. Precipitaciones invernales estandarizadas del suroeste de Australia para el período 1900-2014. Obsérvese el decrecimiento en los últimos años

Fuente: elaboración propia.

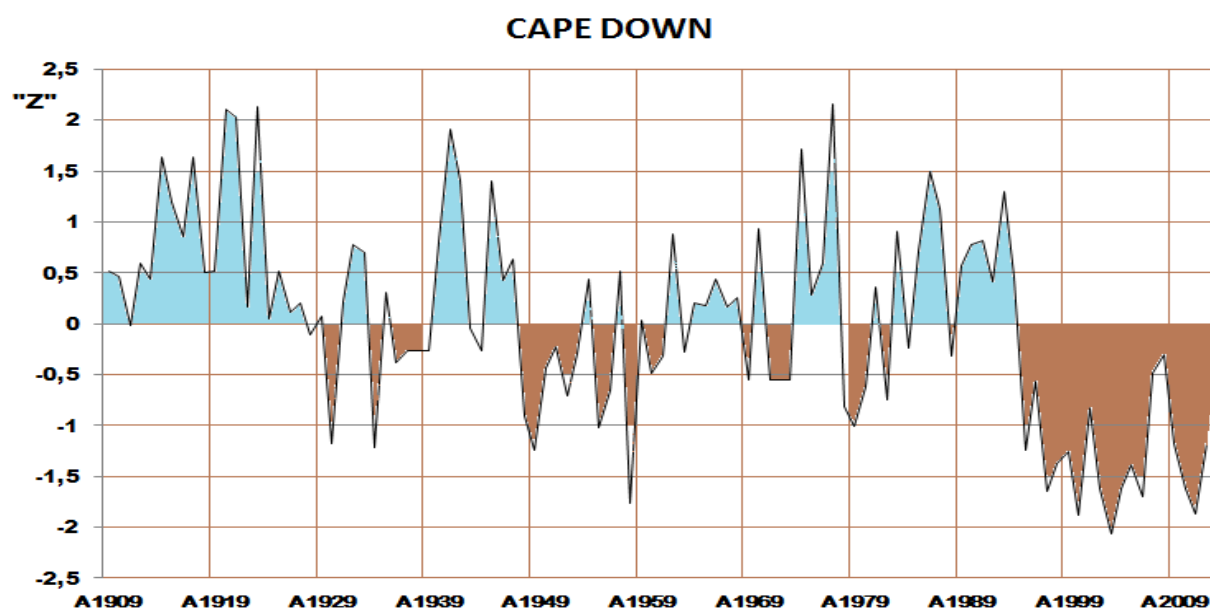


Figura 6. Precipitaciones estandarizadas de Cape Down (Ciudad del Cabo) en el sur de Sudáfrica. Obsérvese la fuerte caída de los últimos años

Fuente: elaboración propia.

Las precipitaciones invernales estandarizadas del suroeste de Australia para el período 1900 -2014 tienen un decrecimiento en los últimos años semejante al de los Andes Áridos pero más prolongado (comenzó aproximadamente en el 2000 y dura hasta 2014), con valores superiores (ver Figura 5).

En la Figura 6 se muestran las precipitaciones estandarizadas de Ciudad del Cabo en el sur de Sudáfrica, también se verifica una fuerte caída en los últimos años al igual que en las regiones antes descritas, pero en este caso más persistente (comienza aproximadamente desde 1996 y dura hasta 2014), sin embargo, a diferencia de aquellas, los montos de sus superávit y déficit están más equilibrados.

Como se describió, el comportamiento de las precipitaciones invernales de dichas localidades consideradas representativas de las áreas afectadas por los anticiclones subtropicales y ubicadas en los continentes en estudio, tienen coincidencia en la tendencia al secamiento a pesar que, como se verá más adelante, dependen de factores disímiles. Por lo que resulta importante encontrar las teleconexiones e interacciones entre los factores que influyen en la hidroclimatología de dichas regiones, y detectar si hay un forzante común a las tres.

## **2.1. Análisis de las asociaciones entre los factores y localidades en estudio con el índice de sequía**

Se decide realizar un análisis de correlación entre los principales factores que influyen en las precipitaciones invernales de las regiones en estudio con el índice de sequía que se adopta como representativo de la aceleración/expansión de la celda de Hadley (POBLETE; MINETTI, 2015).

La Figura 7 muestra las correlaciones significativas entre ISQHS-AS con los principales factores que condicionan la precipitación invernal en las regiones ubicadas en el cinturón de los anticiclones subtropicales. Se observa que la mayor asociación la tiene con la temperatura global en el periodo abril-septiembre (TGLOB-AS;  $r = 0.43$ ) que confirma lo ya encontrado en (POBLETE; MINETTI, 2015) sobre la implicancia de la expansión/activación de la celda de Hadley en la sequía hemisférica; le sigue el anticiclón del Pacífico sur (PSGO-AS;  $r = 0.35$ ), el desplazamiento latitudinal del mismo (L-AS;  $r = 0.33$ ), verificándose con estas asociaciones, que la presurización y corrimiento del anticiclón Pacífico son unas de las causantes más importantes del secamiento de las regiones ubicadas en latitudes subtropicales y en particular los Andes Áridos, no llegando a afectar al suroeste de Australia como se verá más adelante (MINETTI, 2009). La conexión con las temperaturas superficiales del mar en el

área Niño 3+4 (SSTN3+4;  $r = -0.23$ ) indica que a una menor actividad del ENSO, mayor sequía, hecho ya verificado por los autores (POBLETE; MINETTI, 2015). Lo mismo se puede decir sobre la asociación con la Oscilación Decadal Pacífica (PDO;  $r = -0.23$ ).

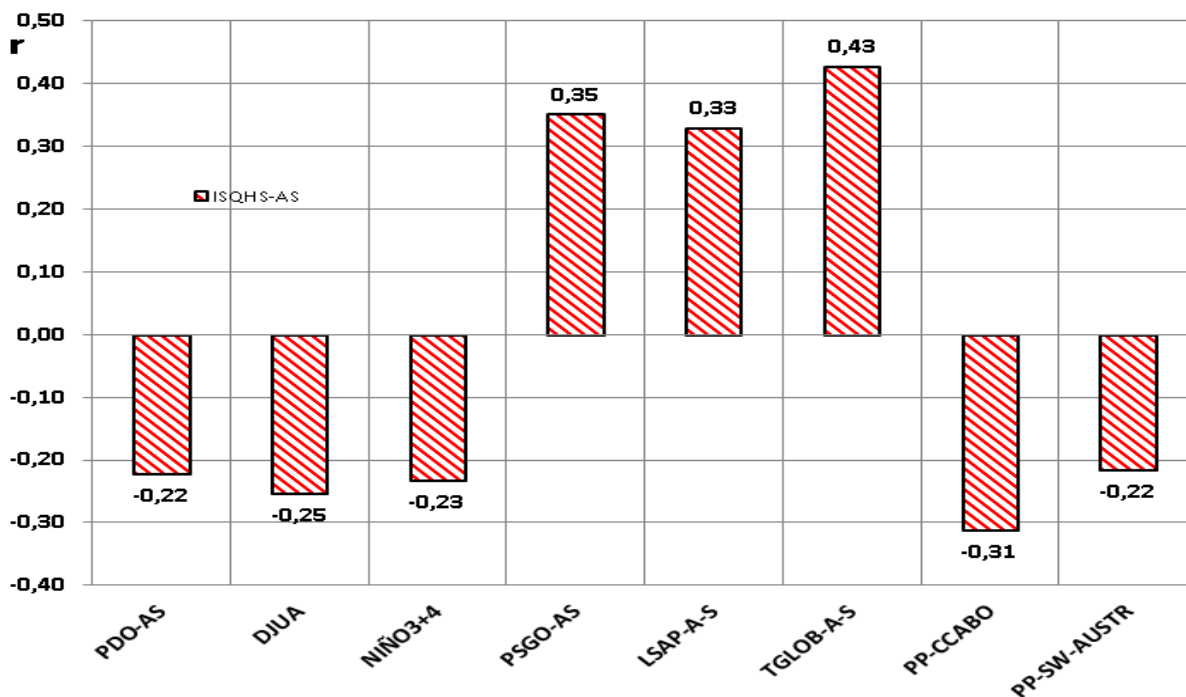


Figura 7. Correlaciones entre el índice de sequía del hemisferio sur en el periodo abril- septiembre (ISQHS-AS) con los factores en estudio

A su vez, la correlación inversa entre el ISQHS-AS y el derrame anual del río San Juan (DJUA;  $r = -0.25$ ), al igual que las precipitaciones del suroeste de Australia (SW-AUSTRALIA =  $-0.22$ ), y de Cape Town en Sudáfrica (CAPE TOWN =  $-0.31$ ); lo validan como índice en las áreas subtropicales citadas, puesto que al ser inversas y significativas muestran que a mayor sequía menor precipitación/ escurrimiento. La alta conexión entre el ISQHS-AS y la TGLOB-AS y las asociaciones citadas, indican que la aceleración/expansión de la HC es la única que está afectando simultáneamente todo el cinturón de los anticiclones subtropicales, puesto que las de Sudáfrica están asociada con: PSGO ( $r = -0.41$ ), LSAP ( $r = -0.53$ ), TGLOB-AS ( $r = -0.55$ ), OLR ( $r = 0.42$ ), AMO ( $r = -0.62$ ), TIRIO ( $r = -0.45$ ), ISQHS-AS ( $r = -0.37$ ), SAM ( $r = -0.36$ ), SOI ( $r = 0.40$ ) y las del SW-Australia con SAM ( $r = -0.36$ ), SOI ( $r = 0.40$ ); ambas, como se ve, dependen de forzantes distintos de los que influyen en los Andes Áridos (POBLETE; MINETTI, 2015).

El análisis anterior muestra una coherencia estadística significativa entre el ISQHS-AS y los factores asociados a la precipitación en el área de los anticiclones subtropicales, y en

particular la caída de nieve, por lo que se decide realizar un análisis multivariado para determinar la conexión interna subyacente entre los mismos.

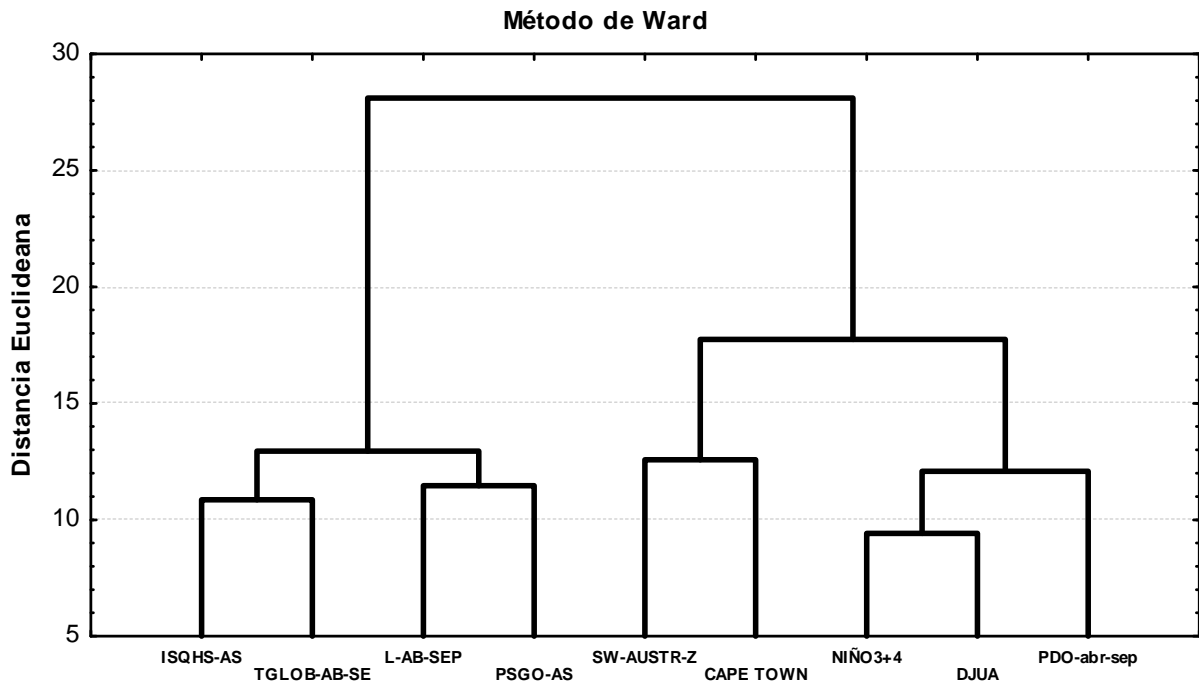


Figura 8. Dendrograma de los factores y precipitaciones en estudio  
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8 se observa el dendrograma surgido del *Cluster* Análisis ejecutado con el método de Ward y la distancia euclídeana (DE). Se diferencian claramente dos racimos; uno constituido por dos *subclusters* que separan las precipitaciones de los Andes Áridos de las que ocurren en los otros continentes: en el primero la DE es menor y asocia el DJUA con las SSTN3+4 confirmando la fuerte asociación entre ambos, al que se adiciona la PDO que ratifica la conexión subyacente ya conocida citas, y un segundo donde se asocian las SW-AUSTRALIA y CAPE-TOWN. Se configura un racimo independiente que está constituido por dos conglomerados: uno que muestra la conexión entre la presurización del anticiclón (PSGO) con su desplazamiento latitudinal (L-AS), y otro que confirma la asociación entre el ISQHS-AS y la TGLOBAL-AS, ratificando el agrupamiento entre el anterior y la expansión/activación de la HC. Ambos confirman la fuerte influencia que ejerce Hadley sobre el anticiclón del Pacífico sur. Estos conglomerados constituyen otro racimo que a su vez se vinculan con los descriptos anteriormente.

De ambos análisis se deduce que: la estructura subyacente entre los factores dinámicos analizados se compone principalmente de dos subconjuntos: uno que se llamaría “precipitaciones invernales” en la región de los anticiclones subtropicales y en particular los

Andes Áridos ligados con SSTN3+4, PDO de manera directa; y otro al que se llamaría “forzantes comunes” en el cual se conectan el ISQHS-AS y la TGLOB-AS, además el anticiclón del Pacífico y su presurización (PSGO) y desplazamiento (LSAP) que constituyen una verdadera teleconexión. Por lo que se concluye que el único factor común a las tres regiones es la aceleración de la celda de Hadley estimada mediante la temperatura global y que el ISQHS-AS las representa satisfactoriamente.

## Consideraciones finales

Se encontraron correlaciones significativas entre ISQHS-AS con los principales factores que condicionan la precipitación invernal en las regiones ubicadas en el cinturón de los anticiclones subtropicales: la mayor asociación la tiene con la temperatura global, a su vez asociada a la expansión/activación de la celda de Hadley, le siguen el anticiclón del Pacífico sur y su desplazamiento latitudinal verificándose que la presurización y corrimiento del mismo son las principales causantes del secamiento en dichas latitudes y en particular los Andes Áridos no llegando a afectar al suroeste de Australia. La conexión con las temperaturas superficiales del mar en el área Niño 3+4 y la PDO, indica que a una menor actividad de ambas, mayor sequía.

La correlación inversa entre el ISQHS-AS y, el derrame anual del río San Juan, las precipitaciones del suroeste de Australia y de Cape Town en Sudáfrica; lo validan como índice en las áreas subtropicales citadas, puesto que al ser inversas y significativas se verifican que a mayor sequía menor precipitación/escorrentía. Las conexiones descritas indican que la aceleración/expansión de la HC es la única que está afectando simultáneamente todo el cinturón de los anticiclones subtropicales, puesto que las de Sudáfrica y SW-Australia dependen de forzantes distintos a los que influyen en los Andes Áridos.

Como complemento de lo descrito se aplica el *cluster* análisis y de ambos se deduce que: la estructura subyacente entre los factores dinámicos analizados se compone principalmente de dos subconjuntos: uno que se llamaría “precipitaciones invernales” en la región de los anticiclones subtropicales y en particular los Andes Áridos ligados con SSTN3+4, PDO de manera directa; y otro al que se llamaría “forzantes comunes” en el cual se conectan el ISQHS-AS y la TGLOB-AS, además el anticiclón del Pacífico y su presurización y desplazamiento. Por lo que se concluye que el único factor común a las tres

regiones es la aceleración de la celda de Hadley estimada mediante la temperatura global y que el ISQHS-AS las representa satisfactoriamente.

## Referencias bibliográficas

- DAI, Aiguo. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, n. 3, p. 52-58, ago. 2012.
- DIAZ, Henry F.; BRADLEY, Raymond (org.). *The Hadley Circulation: present, past and future*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- DRAPER, Norman R.; SMITH, Harry. *Applied regression analysis*, 3. ed. New York: Wiley, 1998.
- EVERITT, Brian S.; LANDAU, Sabine; LEESE, Morven. *Cluster Analysis*. 4. ed. New York: Oxford University; London: Arnold, 2001.
- HU, Y.; FU, Q. Observed poleward expansion of the Hadley circulation since 1979. *Atmospheric, Chemistry and Physics*, n. 7, p. 5229-5236, 2007. Disponible en: <<http://www.atmos-chem-phys.net/7/5229/2007/acp-7-5229-2007.pdf>>. Acceso en: 12 dic. 2014.
- LU, Jian; VECCHI, Gabriel A.; REICHLER, Thomas. Expansion of the Hadley cell under global warming. *Geophysical Research Letters*, Washington: American Geophysical Union, n. 34, p. 1-5, mar. 2007. Disponible en: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006GL028443/epdf>>. Acceso en: 12 dic. 2014.
- MASIOKAS, Mariano H.; VILLALBA, Ricardo ; LUCKMAN, Brian H. ; LE QUESNE, Carlos ; ARAVENA, Juan Carlos. Snowpack variations in the Central Andes of Argentina and Chile, 1951-2005: Large-scale atmospheric influences and implications for water resources in the region. *Journal of Climate*, v. 19, p. 6334-6352, 2006. Disponible en: <[http://www.dendrocronologia.cl/pubs/2006\\_Masiokas\(SnowpackVariationsCentralAndes\).pdf](http://www.dendrocronologia.cl/pubs/2006_Masiokas(SnowpackVariationsCentralAndes).pdf)>. Acceso en: 12 dic. 2014.
- MINETTI, Juan Leonidas; POBLETE, Arnobio Germán; VARGAS, Walter Mario; BOBBA, Maria Elvira. Regional drought in the southern of South America - physical aspects. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 1, p. 88-102, mar. 2010. Disponible en: <[http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista\\_artigo.php?id\\_artigo=844](http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=844)>. Acceso en: 12 dic. 2014.



- MINETTI, Juan Leonidas; POBLETE, Arnobio Germán; VARGAS, Walter Mario; OVEJERO, Darío P. Trends of the Drought Indices in Southern Hemisphere Subtropical Regions. *Journal of Earth Science Research*, v. 2, n. 2, p. 36-47, mayo 2014. Disponible en: <<http://www.labclisud.com.ar/wp-content/uploads/2014/09/Trends-of-the-Drought-Indices-in-Southern-Hemisphere-Subtropical-Regions.pdf>>. Acceso en: 12 dic. 2014.
- MINETTI, Juan Leonidas; VARGAS, Walter Mario; POBLETE, Arnobio Germán; MENDONZA, Eduardo A. Latitudinal Positioning of the Subtropical Anticyclone along the Chilean Coast. *Australian Meteorological and Oceanographic Journal*, v. 58, p. 107-117, jun. 2009. Disponible en: <<http://ruby.fgcu.edu/courses/twimberley/EnviroPhilo/Minetti.pdf>>. Acceso en: 12 dic. 2014.
- MONTGOMERY, Douglas C.; JOHNSON, Lynwood A.; GARDINER, John S. *Forecasting and time series analysis*. New York: Mcgraw-Hill, 1990.
- POBLETE, Arnobio Germán; IRANZO, Daniela Adelina. Condiciones de Borde Atmosféricas y Oceánicas que Intervienen en la Alimentación Nívea de los ríos Cuyanos. In: CONGRESO NACIONAL DEL AGUA, 24., 2013, San Juan. *Anales del...* San Juan: Universidad Nacional de San Juan, 2013. Disponible en: <<http://200.41.224.81:8006/hidraulica/conagua2013/ppt/TRABA JOS/Microsoft%20Word%20-%2020291.pdf>>. Acceso en: 12 dic. 2014.
- POBLETE, Arnobio Germán; AGUIAR, Laura A.; BORBORE, Carla A. Análisis dinámico del régimen de vientos en la provincia de San Juan. *Revista de Geografía*, San Juan: Universidad Nacional de San Juan, v. 24, n. 17, nov. 2013.
- POBLETE, Arnobio Germán; MINETTI, Juan Leonidas. *Análisis Wavelet de los principales factores que intervienen en las nevadas sobre Los Andes Áridos de Argentina*. Mimeo, 2015.
- POBLETE, Arnobio Germán; VALDEZ, V. Posible Impacto de la Activación de la Celda de Hadley en la Intensidad y Corrimiento del Anticiclón del Pacífico Sur. JORNADAS PATAGÓNICAS DE GEOGRAFÍA, 9., 2014, Río Gallegos. *Anales del...* Río Gallegos: Universidad Nacional de la Patagonia Austral, 2014.
- QUINTANA, J. M.; ACEITUNO, P. Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30-43° S. *Atmósfera*, México: UNAM, v. 25, n. 1, p. 1-22, 2012. Disponible en: <<http://www.revistas.unam.mx/index.php/atm/article/view/29080>>. Acceso en: 12 dic. 2014.

VIALE, Maximiliano. *Características de las Precipitaciones Orográficas de Invierno sobre los Andes Subtropicales Centrales*. Tesis (Doctorado en Ciencias de la Atmósfera y los Océanos) – Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2010. Disponible en: <[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_4707\\_Viale.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_4707_Viale.pdf)>. Acceso en: 12 dic. 2014.

WARD JUNIOR, Joe H. Hierarchical Groupings to optimise an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963. Disponible en: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1963.10500845>>. Acceso en: 12 dic. 2014.