

## CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA REGIÓN AGRÍCOLA DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA, ARGENTINA

Méndez, Mariano<sup>1,2,\*</sup>, Vergara, Graciela<sup>1</sup>, Casagrande, Guillermo<sup>1</sup> y Bongianino, Sergio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía, Argentina

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET)

\* [mendez@agro.unlpam.edu.ar](mailto:mendez@agro.unlpam.edu.ar)

Recibido: 15/09/2020

Aceptado: 26/02/2021

**RESUMEN.** El objetivo del presente trabajo fue clasificar, a partir de datos climáticos locales, el clima del norte, centro y sur del área agrícola de la provincia de La Pampa utilizando la clasificación climática de Köppen y la de Thornthwaite. Para alcanzar el objetivo se utilizaron los registros meteorológicos de temperatura de 1941 al 2010 de General Pico (norte de la región agrícola) y Santa Rosa (centro de la región agrícola), y de 1941 a 1970 de Guatraché (sur de la región agrícola) y los registros de precipitación del periodo 1980-2018 en las tres localidades. También se utilizaron diferentes almacenajes de agua en el suelo de acuerdo al tipo, textura y profundidad de suelo presente en cada localidad. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, el clima es el mismo en las tres localidades estudiadas, siendo el clima del área agrícola de La Pampa "templado sin estación seca con verano cálido (Cfa)". Según la clasificación climática de Thornthwaite el clima del norte del área agrícola de La Pampa (General Pico) es subhúmedo húmedo, con nulo o pequeño déficit de agua, mesotermal templado frío con una concentración estival de la eficiencia térmica menor al 48 % (C<sub>2</sub>rB'2a'). El clima del centro y sur del área agrícola (Santa Rosa y Guatraché) es subhúmedo seco, con nulo o pequeño exceso de agua, mesotermal templado frío con una concentración estival de la eficiencia térmica menor al 48 % (C<sub>1</sub>dB'2a'). El tipo de clima en las tres localidades estudiadas fue el mismo para los diferentes almacenajes de agua utilizados según el suelo. La clasificación climática de Thornthwaite pudo diferenciar dos tipos de clima desde el punto de vista hídrico en el área agrícola de La Pampa en concordancia con las diferencias estadísticas encontradas para la precipitación. Se espera que este estudio sea una referencia bibliográfica para los futuros trabajos que se desarrollen en el área agrícola de La Pampa y requieran clasificar el clima del lugar.

**PALABRAS CLAVE:** Clima; Thornthwaite; Köppen;

**ABSTRACT.** *Climate classification of the agricultural region of La Pampa province, Argentina.*

The aim of this work was to classify, from local climate data, the climate of the north, center and south of the agricultural area of La Pampa province using the Köppen and the Thornthwaite climate classification. The meteorological temperature records from 1941 to 2010 of General Pico (northern agricultural region) and Santa Rosa (central agricultural region), and from 1941 to 1970 of Guatraché (southern agricultural region) and the precipitation records from 1980 to 2018 were used. Different soil water stores were also used according to the type, texture and depth of soil present in each locality. According to the Köppen climate classification, the climate is the same in all locations studied. The climate of the agricultural area of La Pampa is "temperate without dry season with hot summer (Cfa)". According to the climate classification of Thornthwaite, the climate of the north of the agricultural area of La Pampa (General Pico) is humid subhumid, with no or small water deficit, cold temperate mesothermal with a summer concentration of thermal efficiency less than 48 % (C<sub>2</sub>rB'2a'). The climate of the center and south of the agricultural area (Santa Rosa and Guatraché) is dry subhumid, with little or no excess water, cold temperate mesothermal with a summer concentration of thermal efficiency less than 48 % (C<sub>1</sub>rB'2a'). The type of climate in the three studied localities was the same

for the different water storage used according to the soil. The Thornthwaite climatic classification was able to differentiate two types of climate from the hydrological point of view in the agricultural area of La Pampa in accordance with the

*Cómo citar este trabajo:*

Méndez, M., Vergara, G., Casagrande, G. y Bongianino, S. (2021). Clasificación climática de la región agrícola de la provincia de La Pampa, Argentina. *Semiárida*, 31(2), 09-20.



statistical analysis of precipitation. It is expected that, this study will be a bibliographic reference for the field works, developed in the agricultural area of La Pampa, that require classify the climate of the place where they were carried out.

**KEY WORDS:** Climate; Thornthwaite; Köppen;

## INTRODUCCIÓN

La diferencia entre clima y tiempo meteorológico es la escala temporal analizada. Los dos se refieren a condiciones locales de la atmósfera, pero el tiempo registra el momento actual, mientras que el clima valora un período de muchos años. El tiempo se estudia en periodos cortos de hasta 14 días y el clima se analiza durante períodos de tiempo prolongados de al menos 20 años (Dole, 2008). Conocer el clima de una región es de utilidad en estudios de impacto ambiental, escenarios de cambio climático, así como en investigaciones agronómicas aplicadas (de Souza Rolim et al., 2007). Además, permite la caracterización de las sequías, determinación de épocas de siembra, programación de riego, identificación de necesidades de drenaje (Ferguson, 1996; Lozada García y Sentelhas, 2003; McCabe y Markstrom, 2007). Es decir, conocer el clima sirve para planificar y de esta manera minimizar riesgos en los procesos de producción. Esto se debe a que las plantas están integradas a las condiciones atmosféricas del ambiente en el que se desarrollan. Las clasificaciones climáticas intentan categorizar de manera rápida y sencilla las observaciones del medio ambiente de un área determinada. Una clasificación climática, tiene por objeto establecer zonas donde los diferentes elementos del clima varían dentro de ciertos márgenes, es decir que los elementos del clima son similares. Esto permite la caracterización de la región o localidad en base a variables específicas. El conocimiento del clima donde se desarrollan las plantas y los animales, permite mayor eficiencia en el proceso productivo y es necesario para interpretar los pronósticos de perspectivas estacionales y los resultados de todas las investigaciones que se llevan a cabo en el campo. Los pronósticos estacionales (desde 1 mes en avance hasta 12 meses en avance) expresan sus resultados como anomalías respecto de los valores normales que son los valores climáticos. Es por esto que, para una

adecuada interpretación de los pronósticos estacionales se requiere un conocimiento acabado del clima. En las investigaciones a campo también es necesario hacer una adecuada descripción del clima del lugar, a fin de interpretar adecuadamente los resultados y determinar el alcance de los mismos.

Existe gran diversidad de métodos para clasificar a los climas entre los que se pueden mencionar el de Köppen (1918), Holdridge (1947), Troll (1958), Peguy (1961), Thornthwaite (1948) y Oliver (2005), entre otros. La mayoría de las clasificaciones consideran las precipitaciones (cantidad y momento de ocurrencia) y las temperaturas, utilizando normalmente los valores de precipitación y temperatura media mensual. El estándar mundial para la clasificación del clima se denomina Clasificación Climática de Köppen (CCK), (Castro et al., 2007), basado en la teoría de que la vida de las plantas nativas se ve directamente afectada por la distribución espacial de elementos climáticos (Lohmann, et al., 1993). La clasificación climática de Köppen delimita zonas climáticas combinando los promedios anuales de temperatura y precipitación junto con la estacionalidad de estas últimas. Köppen divide a los climas del mundo en seis categorías principales, utilizando letras desde la A hasta la E y la letra H. Cada letra define climas por rangos de temperatura, excepto los climas B que se definen por precipitación. Los climas definidos por temperaturas están determinados por la radiación recibida a distintas latitudes. La letra A es para climas tropicales, la B para climas donde la precipitación es menor a la evaporación o evapotranspiración potencial, C para climas templados de latitudes medias, D para climas boreales cercanos a los círculos polares, los E para climas polares y los H para climas de altitud. Las categorías principales se subdividen en 12 tipos principales de clima definidos principalmente por la distribución de las

precipitaciones: Af selva, Aw sabana, BS estepa, BW desierto, CW (estación seca en el invierno), Cs (mediterráneo), Cf (sin estación seca), Cfa (sin estación seca y verano caluroso), Cfb (de las hayas), Dw (continental boreal), Df (ruso canadiense), ET (tundra) y EF (hielos perpetuos). En los climas B el control sobre la vegetación es la sequedad, mientras que en los restantes tipos de climas el factor de control sobre la vegetación es la temperatura. La clasificación de Köppen ha sido ampliamente utilizada con distintas finalidades entre las que se pueden mencionar: 1) herramienta de diagnóstico para validar modelos de circulación general y para análisis de simulaciones de riesgos de gases de efecto invernadero (Lohmann et al., 1993), 2) para proyecciones de cambio climático (Rubel y Kotteck, 2010) y 3) para caracterizar los climas locales (García, 2004; Medvedovic et al., 2009).

Las clasificaciones climáticas como la de Köppen presentan limitaciones desde el punto de vista agrícola, dado que no consideran el suelo y el flujo de agua en el mismo (de Souza Rolim et al., 2007). Estas limitaciones fueron tenidas en cuenta por Thornthwaite (1948). Este autor, en su clasificación, primero divide a los climas desde el punto de vista hídrico a través del cálculo del índice hídrico (IH) que tiene en cuenta las necesidades hídricas del cultivo de referencia (evapotranspiración), los excesos y los déficits de agua anual obtenidos del balance hídrico climático mensual (Thornthwaite, 1948; Thornthwaite y Mather, 1955). Para el cálculo del balance hídrico de agua en el suelo son necesarios datos de evapotranspiración potencial, precipitación y el agua retenida en el suelo a capacidad de campo. El IH está determinado por las entradas de agua (precipitación) y las salidas de agua (evapotranspiración) del sistema y se utiliza para conocer la disponibilidad de humedad para la vegetación (McCabe y Wolock, 1991). Si el IH es positivo el clima es húmedo con exceso hídrico, mientras que si es negativo el clima es árido con un déficit de humedad. Un valor de cero indica un equilibrio entre la precipitación anual y la demanda de humedad del ambiente (Thornthwaite, 1948; McCabe y Wolock, 1991).

Los grandes tipos de climas (obtenidos a partir del IH) se subdividen a partir de los excesos utilizando el índice de humedad o a partir del déficit, utilizando el índice de aridez. El índice de humedad se calcula para los climas secos para ver si estos tienen algún tipo de exceso en algún momento del año. En tanto que, el índice de aridez se calcula para los climas húmedos para determinar si tienen alguna deficiencia de agua a lo largo del año. La clasificación de Thornthwaite y Mather se completa clasificando los climas a través de su temperatura media anual, para lo cual se utiliza la evapotranspiración potencial la cual se obtiene a partir de las temperaturas medias mensuales y la latitud del lugar.

A pesar de la importancia y utilidad de las clasificaciones climáticas, y la necesidad de clasificar el lugar donde se llevan a cabo los estudios agronómicos a campo, no se ha clasificado el clima de la región agrícola de La Pampa a partir de los datos locales. Si bien existen diversos mapas con la clasificación climática de Köppen para la República Argentina, publicado en Wikipedia, foros y otros artículos no académicos, estos carecen de la información utilizada y de una descripción detallada de la metodología empleada para la clasificación. La clasificación climática de Köppen a escala global fue calculada y presentada en forma de mapa por Beck et al. (2018). Para esta clasificación se utilizó la base de datos WorldClim la cual es una interpolación a partir de observaciones alcanzando una resolución de 1 km. Sin embargo, es este trabajo no queda claro cuantas y cuales estaciones fueron utilizadas en la provincia de La Pampa. Además, no se puede determinar con claridad los climas en la región agrícola de La Pampa por carecer el mapa de referencias como los límites políticos de las provincias de la Argentina y las capitales provinciales. Respecto de la clasificación climática de Thornthwaite, Vich et al. (2010) publicaron la clasificación climática para la región oriental de la República Argentina. En este estudio se utilizaron los datos de 81 estaciones del Servicio Meteorológico Nacional e INTA sin mencionar las mismas en el texto ni en forma gráfica. Tampoco se

especifica las estaciones utilizadas detallan en la parte agrícola de La Pampa y el agua almacenada en el suelo a capacidad de campo utilizada en el balance hídrico. Es por esto que, el objetivo del presente trabajo fue clasificar, a partir de datos climáticos locales, el clima del norte, centro y sur del área agrícola de la provincia de La Pampa utilizando la clasificación climática de Köppen y la de Thornthwaite. Se espera que las mismas sean una referencia para caracterizar de manera rápida y sencilla el clima en los estudios que se lleven en la región agrícola de La Pampa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar el objetivo de este trabajo se seleccionaron las localidades de General Pico (Lat: -35° 40' Long: -63° 44' y altitud 143 m s.n.m.), Santa Rosa (Lat: -36° 37', Long: -64° 17' y altitud 175 m s.n.m.) y Guatraché (Lat: -37° 40', Long: -63° 32' y altitud 169 msnm) ubicadas en la región agrícola de la provincia de La Pampa. Siendo Guatraché representativa del sur de la región agrícola, General Pico del norte y Santa Rosa del centro. Se utilizaron los registros meteorológicos mensuales de temperatura del 1941 al 2010 y de precipitación del 1980 a 2018 en Santa Rosa y General Pico respectivamente. Para Guatraché se utilizaron los registros de temperatura mensuales de 1941 a 1970 y de precipitación de 1980 al 2018. Estudios previos han mostrado que en el área de estudio no se han observado cambios en las temperaturas en el periodo 1960-2010 (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2014). Además, para el área de estudio las proyecciones climáticas muestran cambios menores a 0.5 °C en las temperaturas para distintos escenarios de cambio climático (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2014). Estos antecedentes muestra la estabilidad de las temperaturas del área de estudio ante distintas condiciones climáticas. En base a los antecedentes previos se asume que las temperaturas del periodo 1941-1970 de Guatraché son comparables con las del periodo 1941-2010 de Santa Rosa y General Pico. Los registros diarios de temperatura y precipitación

fueron procesados para obtener las temperaturas y precipitaciones medias mensuales. Los datos utilizados provienen de estadísticas de la Facultad de Agronomía (UNLPam), Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y Administración Provincial del Agua de La Pampa (APA).

A partir de la temperatura media mensual y la latitud de cada localidad se procedió al cálculo de la evapotranspiración potencial a partir de la siguiente fórmula propuesta por Thornthwaite:

$$ETP_{Thor} = ETP_{SA} \times L \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde  $ETP_{Thor}$  es la evapotranspiración potencial de Thornthwaite,  $ETP_{SA}$  evapotranspiración potencial sin ajustar y  $L$  factor de ajuste.

$$ETP_{SA} = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^a \quad \text{Ec. (2)}$$

Dónde:  $ETP_{SA}$  evapotranspiración potencial sin ajustar,  $t$  temperatura media mensual,  $I$  índice calórico anual, "a" coeficiente que depende del índice calórico anual.

$$I = \sum_{i=1}^{n=12} i_i \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:  $I$  índice calórico anual,  $i$  índice calórico mensual.

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde,  $i$  índice calórico mensual,  $t$  temperatura media mensual.

$$a = 0,000000675 I^3 - 0,0000771 I^2 + 0,01792 I + 0,49239 \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:  $a$  es el coeficiente de la fórmula de Thornthwaite para el cálculo de la ETP, e  $I$  el índice calórico anual.

$$L = \frac{Nd_i}{30} \times \frac{N_i}{12} \quad \text{Ec. (6)}$$

Dónde  $L$  es el factor de ajuste,  $Nd_i$  es el factor de corrección del número de días del mes e  $N_i$  la duración astronómica del día - horas de luz.

Para cada localidad se calculó el balance hídrico climático mensual (BHC) por la metodología de Thornthwaite utilizando el programa Agroagua versión 4.1 (Forte Lay et al., 1996). El software fue alimentado con las precipitaciones medias mensuales, la evapotranspiración potencial mensual calculada por el método de Thornthwaite y con el agua almacenada en el suelo a capacidad de campo. Para las tres localidades se utilizaron diferentes cantidades de agua almacenada en el suelo a capacidad de campo. Por un lado, en las 3 localidades se utilizó 300 mm de agua almacenada en el suelo a capacidad de campo para que los diferentes climas sean el resultado de las condiciones atmosféricas y no debido a características particulares del suelo. Este almacenaje a capacidad de campo es el que normalmente se utiliza para clasificar climáticamente un sitio con la clasificación climática de Thornthwaite. Por otro lado, para cada localidad se utilizaron dos almacenajes a capacidad de campo que resultaron de considerar los dos tipos de suelos predominantes en los departamentos donde se encuentran cada una de las localidades (Tabla 1). Los suelos predominantes y las profundidades de los mismos en los departamentos de cada localidad fueron extraídos del “Mapa de Suelos La Pampa escala 1:100.000” (Vázquez, 2014). El agua

**Tabla 1.** Características de los principales suelos de los departamentos en los que se encuentra cada localidad estudiada y su lámina de agua almacenada a capacidad de campo.

**Table 1.** Characteristics of the main soils of the departments in which each studied locality is located and their water surface stored at field capacity.

Localidad	Dpto.	Tipos de suelo	Textura	Prof. m	AASCC mm
General Pico	Maracó	Ustisament Típico	Franco Arenoso	>1,5	160
		Haplustol éntico petrocálcico	Franco	0,5	100
Santa Rosa	Capital	Haplustol éntico petrocálcico	Franco	1	200
		Haplustol éntico petrocálcico	Franco	0,5	120
Guatraché	Guatraché	Haplustol Éntico	Franco arenoso	1	160
		Haplustol Éntico	Franco arenoso	0,6	100

almacenada a capacidad de campo para cada tipo y profundidad de suelo se calcularon teniendo en cuenta los valores de referencias obtenidos por Quiroga et al. (2012) para suelos de la misma región.

Como resultado del BHC se obtuvieron los excesos y déficits de agua mensuales y anuales. A partir de los resultados del BHC se realizó la clasificación climática de Thornthwaite siguiendo el siguiente procedimiento:

1. *Cálculo del índice hídrico con la siguiente fórmula:*

$$\text{Índice Hídrico} = \frac{100 \times \text{Exceso de agua} - 60 \times \text{Deficiencia de agua}}{\text{Necesidad de agua}} \quad \text{Ec. (7)}$$

A partir del valor del índice hídrico se clasificó al clima utilizando la tabla 2.

**Tabla 2.** Clasificación de los climas por Thornthwaite de acuerdo con el índice hídrico.

**Table 2.** Classification of climates by Thornthwaite according to the water index.

Notación	Tipo climático	Índice Hídrico
A	Perhúmedo	100 y superiores
B <sub>4</sub>	Húmedo	80 a 100
B <sub>3</sub>	Húmedo	60 a 80
B <sub>2</sub>	Húmedo	40 a 60
B <sub>1</sub>	Húmedo	20 a 40
C <sub>2</sub>	Subhúmedo húmedo	0 a 20
C <sub>1</sub>	Subhúmedo seco	-20 a 0
D	Semiárido	-40 a -20
E	Árido	-60 a -40

Donde en gris claro están representados los climas húmedos y en gris oscuro los climas seco. where, light gray shows humid climates and dark gray shows arid climates.

A los climas secos se les calculó el índice de humedad, para determinar si tienen algún exceso de agua, con la siguiente fórmula:

2. *Cálculo del índice de humedad, si el índice hídrico es inferior a 0, con la siguiente*

$$\text{Índice de Humedad} = \frac{\text{Exceso de agua}}{\text{Necesidad de agua}} \times 100 \quad \text{Ec. (8)}$$

A partir del valor del índice de humedad se clasifico al clima utilizando la tabla 3.

**Tabla 3.** Clasificación de los climas secos por Thornthwaite de acuerdo con el índice de humedad.

**Table 3.** Classification of dry climates by Thornthwaite according to humidity index.

Notación	Climas secos (C <sub>1</sub> , D y E)	Índice de Humedad
d	Nulo o pequeño exceso de agua	0 a 10
w	Exceso moderado de agua en verano	10 a 20
s	Exceso moderado de agua en invierno	10 a 20
s <sub>2</sub>	Gran exceso de agua en verano	más de 20
w <sub>2</sub>	Gran exceso de agua en invierno	más de 20

A los climas húmedos se les calculó el índice de aridez, para determinar si tienen alguna deficiencia de agua, con la siguiente fórmula:

3. *Cálculo del índice de aridez, si el índice hídrico es superior a 0, con la siguiente fórmula:*

$$\text{Índice de Aridez} = \frac{\text{Deficiencia de agua}}{\text{Necesidad de agua}} \times 100$$

Ec. (9)

A partir del valor del índice de aridez se clasificó al clima utilizando la tabla 4.

**Tabla 4.** Clasificación de los climas húmedos por Thornthwaite de acuerdo con el índice de aridez.

**Table 4.** Classification of humid climates by Thornthwaite according to the aridity index.

Notación	Climas húmedos (A, B y C <sub>2</sub> )	Índice de Aridez
r	Nula o pequeña deficiencia de agua	0 a 16,7
s	Deficiencia moderada de agua en verano	16,7 a 33,3
w	Deficiencia de agua moderada en invierno	16,7 a 33,3
s <sub>2</sub>	Gran deficiencia de agua en verano	más de 33,3
w <sub>2</sub>	Gran deficiencia de agua en invierno	más de 33,3

4. *Cálculo del índice de eficiencia térmica con la siguiente fórmula:*

$$IET = ETP \text{ anual}$$

Ec. (10)

Donde IET es el índice de eficiencia térmica y ETP anual es la evapotranspiración anual calculada por el método de Thornthwaite.

A partir del valor del índice de eficiencia térmica se clasificó al clima utilizando la tabla 5.

**Tabla 5.** Clasificación de los climas desde el punto de vista térmico por Thornthwaite de acuerdo con el índice de eficiencia térmica.

**Table 5.** Classification of climates from the thermal point of view by Thornthwaite according to the thermal efficiency index.

Notación	Tipo climático	Índice Eficiencia Térmica
A	Megatermal	> 1140
B <sub>4</sub>	Mesotermal	997 a 1140
B <sub>3</sub>	Mesotermal	885 a 997
B <sub>2</sub>	Mesotermal	712 a 885
B <sub>1</sub>	Mesotermal	570 a 712
C <sub>2</sub>	Microtermal	427 a 570
C <sub>1</sub>	Microtermal	285 a 427
D	Tundra	142 a 285
E	Helado	< 142

5. *Cálculo de la concentración estival de eficiencia térmica con la siguiente fórmula:*

$$CEET = \left( \frac{ETP \text{ diciembre} + ETP \text{ enero} + ETP \text{ febrero}}{ETP \text{ anual}} \right) \times 100$$

Ec. (11)

Donde CEET concentración estival de la eficiencia térmica y ETP evapotranspiración potencial calculada por el método de Thornthwaite.

A partir de la concentración estival de eficiencia térmica se clasificó al clima desde el punto de vista térmico utilizando la tabla 6.

**Tabla 6.** Clasificación de los climas desde el punto de vista térmico por Thornthwaite de acuerdo con la concentración estival de la eficiencia térmica.

**Table 6.** Classification of climates from the thermal point of view by Thornthwaite according to the summer concentration of thermal efficiency.

Notación	Concentración estival
a'	< 48
b <sub>4</sub> '	48 a 51,9
b <sub>3</sub> '	51,9 a 56,3
b <sub>2</sub> '	56,3 a 61,6
b <sub>1</sub> '	61,6 a 68
c <sub>2</sub> '	68 a 76,3
c <sub>1</sub> '	76,3 a 88
D	> 88

Para la clasificación climática de Köppen se utilizaron las precipitaciones y las temperaturas medias mensuales. Para determinar si la precipitación es el principal elemento que condiciona el desarrollo de la vegetación (Clima tipo B) se determinó la distribución de las precipitaciones y se aplicaron los siguientes criterios y umbrales:

Si el 70 % o más de la precipitación ocurre en el semestre más frío (abril a septiembre).

$$1- P < 2T$$

Si el 70 % o más de la precipitación ocurre en el semestre más cálido (octubre a marzo)

$$2- P < 2T + 28$$

Si no se alcanzan los porcentajes anteriores porque las precipitaciones están distribuidas durante todo el año.

$$3- P < 2T + 14$$

Dónde P es la precipitación media anual (cm) y T la temperatura media anual (°C).

Cuando fue descartado que el clima es de tipo “B” se utilizaron los criterios de la tabla 7 para determinar los grandes tipos de clima de acuerdo con la clasificación climática de Köppen.

Para determinar los subtipos de clima dentro de los grandes tipos de clima de la clasificación climática de Köppen se utilizaron los criterios de la tabla 8.

Los climas templados (letras C, de latitudes medias) se subdividieron de acuerdo a cuán cálido es el verano o cuán frío es el invierno a través del siguiente criterio:

a: Subtropical. El verano es caluroso, se superan los 22 °C de temperatura media en el mes más cálido y las temperaturas medias

**Tabla 7.** Criterios para determinar los grandes tipos de clima de la clasificación climática de Köppen.

**Table 7.** Criteria for determining the major types of climate of the Köppen climate classification.

Tipo de clima	Clima	Criterios
A	Climas lluviosos tropicales	El mes más frío tiene una temperatura superior a 18,0°C
B	Climas secos	La evaporación excede las precipitaciones. Siempre hay déficit hídrico
C	Climas templados y húmedos	Temperatura media del mes más frío es inferior a 18,0 °C y superior a -3,0 °C y al menos un mes la temperatura media es superior a 10,0 °C
D	Climas boreales o de nieve y bosque	La temperatura media del mes más frío es inferior a -3,0°C y la del mes más cálido superior a 10,0 °C
E	Climas polares o de nieve	La temperatura media del mes más cálido es inferior a 10,0 °C y superior a 0 °C
F	Clima de hielos perpetuos	La temperatura media del mes más cálido es inferior a 0 °C

**Tabla 8.** Criterios para subdividir los grandes tipos de clima.

**Table 8.** Criteria for subdividing the major types of climate.

Subtipo de clima	Clima	Criterios
Af	Clima de selva tropical lluviosa	El mes más seco caen más de 60 mm de lluvia
Am	Clima monzónico	El mes más seco caen menos de 60 mm de lluvia
Aw	Clima de sabana tropical	Por lo menos hay un mes en el que caen menos de 60 mm de lluvia
BS	Clima de estepa	Clima árido continental
Bw	Clima desértico	Clima árido con precipitaciones menores a 400 mm
Cf	Clima templado húmedo sin estación seca	Las precipitaciones del mes más seco son superiores a 30 mm
Cw	Clima templado húmedo con estación invernal seca	El mes más húmedo del verano es diez veces superior al mes más seco del invierno
Cs	Clima templado húmedo con veranos secos	La precipitación del mes más seco del verano es inferior a 30 mm y la del mes más lluvioso del invierno tres veces superior
Df	Clima boreal de nieve y bosque con inviernos húmedos	No hay estación seca
Dw	Climas boreales de nieve y bosque con inviernos secos	Con una estación seca en invierno
ET	Clima de tundra	Temperatura media del mes más cálido es inferior a 10,0°C y superior a 0°C
EF	Clima de hielos polares	La temperatura del mes más cálido es inferior a 0°C

superaron los 10 °C al menos cuatro meses al año.

b: Templado. El verano es fresco, no se superan los 22 °C de temperatura media en el mes más cálido y las temperaturas medias superaron los 10 °C al menos cuatro meses al año.

c: Frío. El verano es frío y en menos de cuatro meses al año las temperaturas medias superaron los 10 °C.

Las medias se analizaron estadísticamente con ANAVA simple y el test de diferencias de medias LSD de Fisher utilizando el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2002).

## RESULTADOS

Las temperaturas medias mensuales fueron similares en las tres localidades analizadas (Figura 1). La marcha de las temperaturas medias mostró una amplitud térmica anual (diferencia entre el mes más cálido y el mes más frío) de 16,3 °C en Guatraché (entre 23,2 °C y

6,9 °C), de 16,0 °C en Santa Rosa (entre 23,6 °C y 7,6°C) y de 15,9 °C en General Pico (entre 24,0 °C y 8,1 °C). Esta característica es típica de los climas de latitudes medias continentales con estaciones del año bien marcadas, donde los veranos son calurosos y los inviernos fríos (McColl, 2014). Temperaturas máximas absolutas alcanzaron valores de hasta 44,0 °C y temperaturas mínimas absolutas valores de hasta -13,0 °C. Los registros térmicos extremos de alta temperatura constituyen condiciones desfavorables para los cultivos por superar las temperaturas máximas vitales de los cultivos de verano y por provocar excesiva demanda de agua por parte de la atmósfera en una zona donde las precipitaciones son uno de los factores limitantes de la producción (Bhattacharya, 2019). Los registros térmicos extremos de baja temperatura constituyen también condiciones desfavorables para los cultivos que son afectados por las heladas intensas (Kumar et al., 2018).

La precipitación anual (periodo 1980-2018) en General Pico fue superior a la de Santa Rosa y Guatraché ( $p < 0,05$ ; Tabla 9). Estudios previos encontraron que General Pico se encuentra en una isohieta de mayor precipitación que Santa Rosa y Guatraché (Casagrande et al., 2006) sin determinar la existencia de diferencias

estadísticas en la precipitación de las localidades analizadas. Las tres localidades mostraron un régimen de precipitaciones con una marcada estacionalidad (Figura 2). Las precipitaciones se concentraron principalmente en el semestre cálido. De octubre a marzo (semestre cálido) las precipitaciones representaron el 75 % de las precipitaciones anuales en General Pico, el 73 % en Santa Rosa y 69 % en Guatraché.

La precipitación anual superó al índice de temperatura media anual en las tres localidades estudiadas indicando que ninguna de estas corresponde a climas secos ("B") donde la precipitación es la principal limitante de acuerdo con la clasificación climática de Köppen (Tabla 9). La temperatura media mensual en las tres localidades analizadas osciló entre los 24,0 °C (enero General Pico) y los 6,9 °C (julio Guatraché) dando como resultado en la Clasificación Climática de Köppen un clima templado y húmedo ("C") (Figura 1). La precipitación mensual media (periodo 1980-2018) osciló entre 16,0 y 110,5 mm en General Pico, entre 18,8 y 84,0 mm en Santa Rosa y entre 18,8 y 91,8 mm en Guatraché (Figura 2 a, b y c). Las precipitaciones más elevadas se dieron en enero en General Pico y en marzo en Santa Rosa y Guatraché (verano). En tanto que, las menores precipitaciones ocurrieron en junio

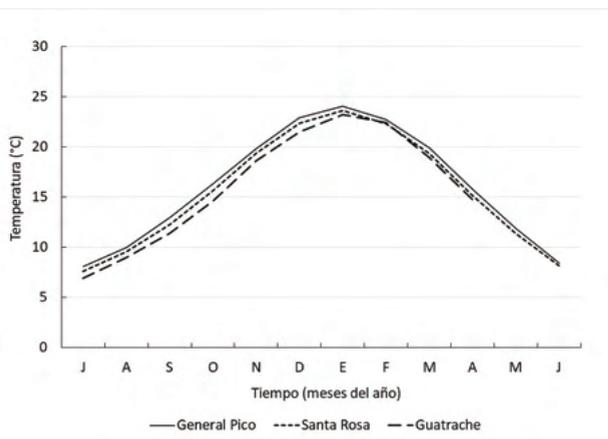


Figura 1. Temperaturas medias mensuales para General Pico, Santa Rosa y Guatraché.

Figure 1. Average monthly temperatures for General Pico, Santa Rosa and Guatraché.

(invierno) en las tres localidades. En las cuales la cantidad de precipitación del mes más lluvioso estuvo comprendida entre tres y diez veces la precipitación del mes más seco. De acuerdo con la distribución de las precipitaciones el clima de las tres localidades clasificó como templado húmedo sin estación seca (Cf). En Guatraché, Santa Rosa y General Pico la temperatura media del mes más cálido (enero) fue superior a los 22,0 °C, siendo clasificadas las tres localidades como clima con verano cálido ("a"). A pesar de las diferencias en la

**Tabla 9.** Precipitación media anual y desvío estándar (período 1980-2018) para las tres localidades analizadas.

**Table 9.** Average annual precipitation and standard deviation (period 1980-2018) for the three analyzed localities.

	Precipitación media anual (1980-2018) mm	Desvío mm	Índice de temperatura Tma*20+280
General Pico	833,3 b	230.2	602
Santa Rosa	705,4 a	198.2	592
Guatraché	734,9 a	217.5	580

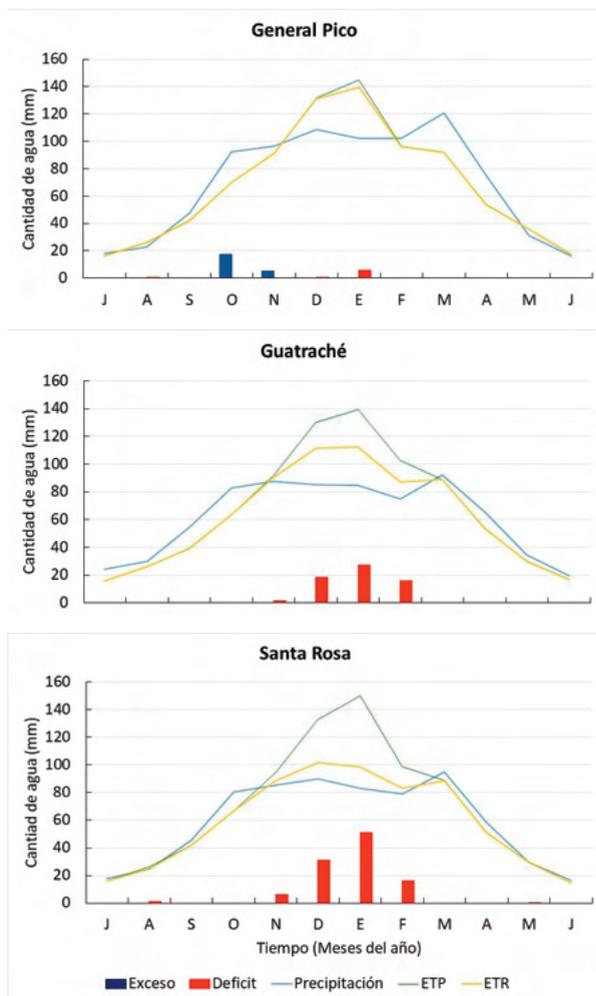
Diferentes letras indican diferencias estadísticas al 5 % ( $p < 0,05$ )

precipitación media anual y en la distribución de las mismas la clasificación climática de Köppen no pudo diferenciar el clima de las tres localidades analizadas. En todas ellas el clima de acuerdo con la clasificación climática de Köppen fue templado sin estación seca con verano cálido (Cfa). Estos resultados coincidieron con los reportados por la Coordinación de Políticas Socioambientales Ministerio de Salud y Desarrollo Social de la Nación (2018) en el cual se clasificó al clima de la región donde se encuentran Santa Rosa, Guatraché y General Pico como templado húmedo sin estación seca y con verano cálido (Cfa). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Beck et al. (2018), las tres localidades clasificadas en este estudio como Cfa se encuentran al límite con los climas de estepa fría (BSK) que se encuentran hacia el oeste.

El balance hídrico climático mensual utilizado en la clasificación climática de Thornthwaite muestra pequeñas deficiencias de agua al comienzo del verano (diciembre y enero) y pequeños excesos de agua al comienzo de la primavera (octubre y noviembre) en General Pico (Figura 2). En Guatraché y Santa Rosa ocurren en términos climáticos pequeñas a moderadas deficiencias de agua durante el verano (Figura 2). En ninguna de las dos localidades ocurren excesos en términos climáticos. El período de recarga de agua en el suelo (cuando la precipitación es superior a la ETP) ocurre de septiembre a noviembre y de febrero a mayo en General Pico. En Santa Rosa ocurren pequeñas recargas de marzo a mayo y en octubre. En Guatraché el período de recarga se extiende de marzo a octubre (Figura 2). Esta

última característica de Guatraché junto al período de déficit marcado de noviembre a febrero hacen que el sur del área agrícola de La Pampa presente mejores condiciones agroclimáticas para la producción de cultivos invernales. En tanto que, General Pico (norte de área agrícola) por la recarga de primavera y pequeños déficits de verano presenta mejores condiciones agroclimáticas para la producción de cultivos estivales.

El resultado del balance hídrico climático mensual arrojó un índice hídrico superior a cero en General Pico e inferior a cero en Santa Rosa y Guatraché para las distintas condiciones de suelo evaluadas en cada localidad (Tabla 10). Esto determinó un clima subhúmedo húmedo en General Pico y subhúmedo seco en Santa Rosa y Guatraché. El índice de aridez en General Pico fue menor a 16,7 en todos los casos (Tabla 10) lo que determinó un clima con nulo o pequeño déficit de agua (r). En Santa Rosa y Guatraché los valores del índice de humedad fueron inferiores a 10 (Tabla 10), lo que determinó que el clima tiene nulo o pequeño exceso de agua (d). Estos resultados muestran que al considerar el suelo la clasificación climática de Thornthwaite pudo diferenciar desde el punto de vista hídrico los climas de las localidades estudiadas en dos grupos y que las particularidades de los suelos de cada área (tipo de suelo, textura y profundidad) no modifican la clasificación climática. El índice de eficiencia térmica (ETP) varió entre 797,9 (Guatraché) y 817,3 mm (General Pico) y la concentración estival de la eficiencia térmica osciló entre 45,6 (Santa Rosa) y 47 (General Pico). En los tres casos analizados el clima desde el punto de vista térmico fue mesotermal templado frío con una concentración estival de la eficiencia térmica menor al 48 %. De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite el clima de General Pico es subhúmedo húmedo, con nulo o pequeño déficit de agua, mesotermal templado frío con una concentración estival de la eficiencia térmica menor al 48 %. La notación para el clima de General Pico según la clasificación climática de Thornthwaite es C<sub>2</sub>rB'2a'. El clima de Santa Rosa y de Guatraché es subhúmedo seco, con nulo o pequeño exceso de agua,



**Figura 2.** Balance hídrico climático mensual para las tres localidades analizadas. ETP evapotranspiración mensual y ETR evapotranspiración real.

**Figure 2.** Monthly climatic water balance for the three analyzed localities. ETP monthly evapotranspiration and ETR real evapotranspiration.

mesotermal templado frío con una concentración estival de la eficiencia térmica menor al 48 %. La notación de la clasificación climática de Thornthwaite para el clima de Santa Rosa y Guatraché es  $C_1dB'2a'$ . A diferencia de la clasificación climática de Köppen, la clasificación climática de Thornthwaite pudo diferenciar desde el punto de vista hídrico los climas de Santa Rosa y Guatraché del clima de General Pico. Esto concuerda con el análisis

estadístico de las precipitaciones anuales en las que se encontró diferencias entre General Pico y Santa Rosa y Guatraché (Tabla 9). Los resultados de la clasificación de Thornthwaite desde el punto de vista hídrico de este estudio coinciden con los obtenidos por Vich et al. (2010). Sin embargo, son diferentes desde el punto de vista térmico, dado que Vich et al. (2010) encontraron que los climas de General Pico, Santa Rosa y Guatraché fueron mesotermal semi-fría ( $B'1$ ) a diferencia de lo encontrado en este estudio donde los climas fueron mesotermal templada fría ( $B'2$ ).

Es importante considerar que para la clasificación climática de Thornthwaite se estimó la evapotranspiración potencial con la fórmula desarrollada por el mismo autor. Estudios previos han determinado que la fórmula de Thornthwaite subestima, entre un 23 y 28 %, la evapotranspiración potencial calculada con la fórmula Penman-Monteith (Bono Rapp, 2014). La ETP estimada con la fórmula de Penman-Monteith es la que mejor ajusta a la ETP medida con evapotranspirómetros en distintas partes del mundo (Allen et al., 2006). Es por esto que, en el caso de utilizar la ETP estimada por Penman-Monteith para clasificar por Thornthwaite las localidades estudiadas, posiblemente sean más secas que lo encontrado en este estudio.

## CONCLUSIONES

Las tres localidades, según la clasificación climática de Köppen, clasificaron como clima templado húmedo sin estación seca y verano cálido ( $Cfa$ ). Esta clasificación climática general no pudo detectar las diferencias en la precipitación media anual detectada con el

análisis estadístico. De acuerdo con la clasificación climática de Thornthwaite el clima de General Pico clasificó como subhúmedo húmedo, con nulo o pequeño déficit de agua, mesotermal templado frío con una concentración estival de la eficiencia térmica menor al 48 % (C<sub>2</sub>rB'2a'). En tanto que, el clima de Santa Rosa y de Guatraché clasificó como subhúmedo seco, con nulo o pequeño exceso de agua, mesotermal templado frío con una concentración estival de la eficiencia térmica menor al 48 % (C<sub>1</sub>dB'2a'). Esta última clasificación climática pudo diferenciar dos tipos de clima desde el punto de vista hídrico en la región agrícola de La Pampa en concordancia con el análisis estadístico de la precipitación. De acuerdo con los resultados de este estudio la clasificación de Thornthwaite resulta más adecuada para clasificar los climas del área agrícola de La Pampa.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los revisores anónimos que con sus sugerencias y comentarios han ayudado a mejorar el presente trabajo. Agradecemos al Servicio Meteorológico Nacional, Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y a la Administración Provincial del Agua de La Pampa y a la Estación Agrometeorológica Ing. Agr. Juan M. Lasalle de la Facultad de Agronomía de la UNLPam. por aportar los datos para este estudio. Este trabajo fue financiado por la Facultad de Agronomía UNLPam e Instituto

**Tabla 10.** Índices de la clasificación climática de Thornthwaite para las tres localidades estudiadas.

**Table 10.** Thornthwaite climatic classification indexes for the three studied localities.

	Capacidad de campo mm	Índice Hídrico	Índice de Aridez	Índice de Humedad	IET	CEET %
General Pico	300	2,3	0,8	-	817,3	45,6
	160	2,8	1,4	-	817,3	45,6
	100	3,1	2	-	817,3	45,6
Santa Rosa	300	-7,8	-	0	811,4	47
	200	-12,2	-	0	811,4	47
	120	-12,2	-	0	811,4	47
Guatraché	300	-4,7	-	0	797,9	46,7
	160	-4,8	-	0	797,9	46,7
	100	-4,8	-	0	797,9	46,7

IET: índice de eficiencia térmica, CEET: concentración estival de la eficiencia térmica.

de Ciencias de la Tierra y Ambientales de La Pampa (INCITAP, CONICET-UNLPam).

### BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del Cultivo: Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos. Estudios FAO riego y drenaje 56. Roma: FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).
- Beck, H., Zimmermann, N., McVicar, T. R., Vergopolan N., Berg, A. & Wood E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Science Data*, 5, 180-214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>.
- Bhattacharya, A. (Ed). (2019). Chapter 1 - Effect of High-Temperature Stress on Crop Productivity, *Effect of High Temperature on Crop Productivity and Metabolism of Macro Molecules* (pp.1-114). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817562-0.00001-X>.
- Bono Rapp, F. D. (2014). *Comparación de cinco metodologías de estimación de la evapotranspiración para cuatro localidades de la pampa húmeda y semiárida argentina*. (Tesis presentada para obtener el grado académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad Nacional de La Pampa). Repositorio UNLPam [http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/data/tesis/x\\_boncom889.pdf](http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/data/tesis/x_boncom889.pdf)
- Casagrande, G., Vergara, G. y Bellini, Y. (2006). Cartas agroclimáticas de temperaturas, heladas y lluvias de la provincia de La Pampa (Argentina). *Semiárida*, 17 (1/2), 15-22.
- Castro de, M., Gallardo, C., Jylha, K. & Tuomenvirta, H. (2007). The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models. *Climatic Change*, 81, 329-341.
- de Souza Rolim, G., Paes de Camargo, M. B., Grosseli Lania, D. & Leite de Moraes, J. F. (2007) Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia, Revista de Ciências Agronômicas*, 66(4), 711-720.
- Di Rienzo, J. A., Balzarini, M., Casanoves, F., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. W. (2002). Infostat/Professional (versión 1.1.).
- Dole, R. M. (2008) Linking weather and climate. *Meteorological Monographs*, 33(55), 297-348.
- Ferguson, B. (1996). Estimation of Direct Runoff in the Thornthwaite Water Balance. *Professional Geographers*, 48(3), 263-271.
- Forte Lay, J. A., Aiello, J. L. & Kuba, J. (1996). Software AGROAGUA (versión 4.1.) Resumen publicado en la revista Agrosoft'95. Argentina.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de*

- Méndez, M. Vergara, G., Casagrande, G. y Bongianino, S. *Clasificación Climática de Köppen*. Serie Libros, N° 6, Instituto de Geografía. UNAM. México.
- Holdridge, L. R. (1947). Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105, 367- 368.
- Köppen, W. (1918). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle). *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 64, 193-203.
- Kumar, R., Chaurasiya, P. C., Singh R. N. & Singh S. (2018). A Review Report: Low Temperature Stress for Crop Production. *International journal of pure and applied bioscience*, 6(2), 575-598.
- Lohmann, U., Sausen, R., Bengtsson, L., Cubasch, U., Perlwitz, J. & Roeckner, E. (1993). The Koppen climate classification as a diagnostic tool for general circulation models. *Climate Research*, 3, 177-193.
- Lozada García, B. I. y Sentelhas, P. C. (2003) Diferencias entre las deficiencias y excedentes hídricos estimados a partir del balance hídrico climático normal y secuencial de las localidades de Bramón, Venezuela y Piracicaba, Brazil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 11(1),195-198.
- McCabe, G. J. & Wolock, D. M. (1991). Detectability of the effects of a hypothetical temperature increase on the Thornthwaite moisture index. *Journal of Hydrology*, 125, 25-35.
- McCabe, G. & Markstrom, S. (2007). *A monthly water-balance model driven by a graphical user interface*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- McColl, R. W. (2014). *Encyclopedia of World Geography*. Infobase: New York, USA.
- Medvenovic, J., Milkovic, J. & Tomaic, M. (2009). Some weather and climate features of Krasno and the surrounding area. *Sumarski List*, 133 (11/12), 613-622.
- Oliver, J. (2005). *Encyclopedia of world climatology*. Springer. New York.
- Peguy, C. P. (1961) *Précis de Climatologie*. Paris: Masson et Cie.
- Quiroga, A., Fernández, R., Azcarate, P., Bono, A. y Gaggioli, C. (2012). Agua del suelo. Bases funcionales para su manejo. E A. Quiroga y A. Bono (Eds). *Manual de fertilidad y evaluación de suelos*. Ediciones INTA - EEA INTA Anguil.
- Rubel, F. & Kottek, M. (2010). Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 19 (2), 135-141.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2014). Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. "Cambio Climático en Argentina; Tendencias y Proyecciones" (Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera). Buenos Aires, Argentina. [http://3cn.cima.fcen.uba.ar/TCN\\_CIMA\\_CVera\\_2015.pdf](http://3cn.cima.fcen.uba.ar/TCN_CIMA_CVera_2015.pdf) y [http://3cn.cima.fcen.uba.ar/TCN\\_CIMA\\_Vbarros\\_2015.pdf](http://3cn.cima.fcen.uba.ar/TCN_CIMA_Vbarros_2015.pdf)
- Troll, C. (1958). Climatic seasons and climatic classification. *Oriental Geographer*, 2, 141-165.
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *American Geographical Society*, 38(1), 55-94.
- Thornthwaite, C. W. & Mather, R. J. (1955). *The water balance*. Publications in climatology, laboratory of climatology. Centerton, NJ.
- Vázquez, P. (2014). La ecuación suelos-paisaje, los sensores remotos y la actualización de la cartografía edáfica de la provincia de La Pampa. Publicación técnica N° 98. INTA Anguil. <http://www.geointa.inta.gob.ar/2015/09/28/mapa-de-suelos-la-pampa-escala-1100-000/>
- Vich, H., Antelo, M. y Hurtado, R. (2010). Clasificación climática de Thornthwaite para la región oriental de la República Argentina. XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología, 20 al 22 de octubre de 2010. Bahía Blanca, Argentina. [http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/2010-AADA-CLASIFICACION\\_TH.pdf](http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/2010-AADA-CLASIFICACION_TH.pdf)