

Análisis del modelo conceptual hidrogeoquímico en un sector acuífero arenoso del Noreste de La Pampa. Argentina

E. Castro *

Fac. de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam). Coronel Gil N° 353. Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam. Av. Uruguay 151, (6300) Santa Rosa, La Pampa, Argentina

C. Schulz & L. Ceballo

Fac. de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam. Av. Uruguay 151, (6300) Santa Rosa, La Pampa, Argentina

* *Email de correspondencia: castroeduardo50@gmail.com*

RESUMEN: Las relaciones entre los iones disueltos en el agua guardan estrecha relación con el terreno de donde proceden y pueden indicarnos además la acción de fenómenos modificadores o cualquier otra característica específica. En este trabajo se han identificado los procesos modificadores responsables que se han llevado a cabo en el agua subterránea en una zona medanosa en el noreste de la Provincia de La Pampa. Los resultados obtenidos mediante las diversas metodologías empleadas han puesto en evidencia la evolución química del agua en el acuífero y su relación con las características climáticas, geológicas, hidrodinámicas y geomorfológicas en la zona. La comprensión de los resultados obtenidos servirá como referencia y antecedente para lugares con características hidrogeológicas similares, y además será una vía para la gestión del agua subterránea en las regiones involucradas propiciando el dictado de normas que tiendan a un aprovechamiento racional y sustentable del recurso.

PALABRAS CLAVES: aguas subterráneas, procesos modificadores y evolución química

ABSTRACT: Relations among the ions dissolved in water are closely related to the soil from which they come from, and these relations can also indicate the occurrence of modifying events or any other specific characteristic. This project has identified the processes responsible modifiers that have been carried out in groundwater in a dune area in the northeast of the Province of La Pampa. Results obtained by the various methodologies used have shown the chemical evolution of water in the aquifer, and its relationship with climatic, geological, geomorphological and hydrodynamic characteristics in the area. A thorough understanding of the results will serve as reference and background for future studies in sites with similar hydrogeological characteristics, and it will enable groundwater management in the regions involved, stimulating at the same time the passing of bills favoring a rational and sustainable utilization of the natural resource.

KEYWORDS: Groundwater, modifying processes and chemical evolution

1 INTRODUCCIÓN

1.1 *Objetivos y ubicación del área de trabajo*

En ambientes donde el recurso hídrico superficial es escaso o está ausente, la presencia de aguas subterráneas con calidad apta para consumo humano juega un rol esencial para el abastecimiento de las poblaciones que allí se asientan. El objetivo de este trabajo es identificar los procesos modificadores que han te-

nido lugar en el agua subterránea en una zona medanosa en el noreste de la Provincia de La Pampa.

Específicamente, la zona estudiada se encuentra en el Departamento Chapaleufú, provincia de La Pampa (Fig. 1). Limita hacia el Norte y Este con la Provincias de Córdoba y Buenos Aires, respectivamente, y al Sur y Oeste con los Departamentos Maracó y Realicó, respectivamente, ambos en La Pampa. Todo el sector comprende una franja alargada en el sentido N-S de aproximadamente 50 km de ancho y 60 Km longitud. A nivel regional, se encuentra dentro la Llanura Chaco-Pampeana, la cual ocupa más de 1.000.000 de km² en territorio argentino, y fue cubierta por una delgada y continua capa loéssi-

ca, que esconde varias cuencas de distintas edades y orígenes geológicos (Chebli et al. 1999). A nivel local, según la clasificación propuesta por el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa (Cano et al. 1980), pertenece a la subregión de las planicies arenosas de la Región Oriental, la cual se emplaza entre los meridianos 63° y 64° 15' W y los paralelos 35° y 37° 15' S.

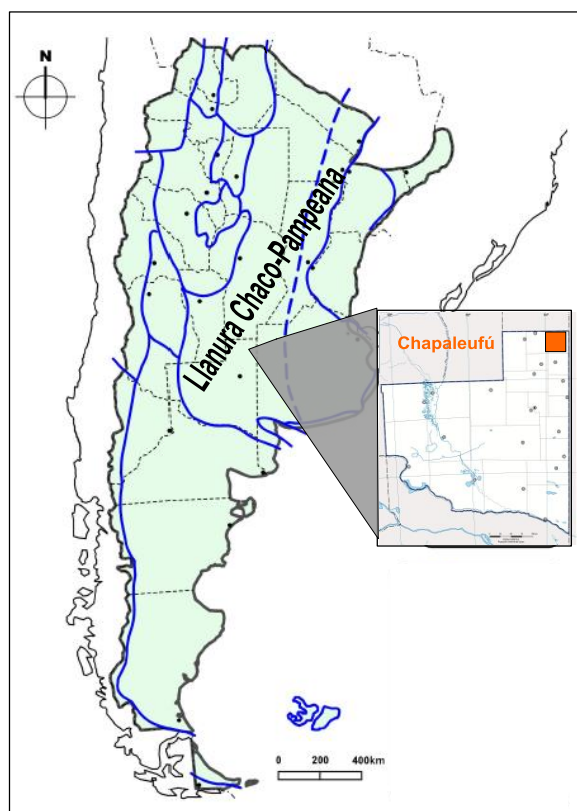


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

1.2 Clima

La clasificación climática según la metodología y los índices climáticos de Thornthwaite (1955), para los registros termométricos y pluviométricos existentes durante el período considerado (1980-2010), ha sido determinada para este trabajo como B2, B'2, r, a', es decir Húmedo II, Mesotérmico o mesotermal con pequeña falta de agua y una concentración estival de la eficacia térmica del 24% (Castro, 2009). El factor climático le confiere a la zona de estudio una trascendencia especial a la caracterización del suelo y consecuentemente en la conceptualización de la recarga al sistema, ya que el mismo recibe agua exclusivamente de las precipitaciones. Los estratos permeables del área medanosa y la zona de descarga, cuyo funcionamiento hídrico se analiza en este trabajo, vuelven el agua a la atmósfera iniciándose nuevamente el ciclo.

Indudablemente junto a la temperatura, las precipitaciones son el elemento climático que influye de manera más directa en la configuración del medio natural, tanto de manera temporal como espacialmente, constituyendo la única entrada de agua al sistema

y presentan una importancia fundamental y directa sobre la economía ya que condiciona los ciclos agrícolas y la distribución de las principales especies vegetales y animales. Las precipitaciones son además el parámetro meteorológico más condicionante en el comportamiento de la vegetación de la zona y tienen una fuerte influencia sobre la humedad relativa del ambiente ya que es superior en el extremo NE por poseer mayores precipitaciones por el aporte de las masas de aire húmedo del Atlántico, constituyendo un gradiente pluviométrico en sentido NNE-SSW, con una media de 925 mm. (1980-2010).

En virtud de la importancia que adquiere en este tipo de suelos y de su estrecha vinculación con los procesos que determinan las fluctuaciones freáticas, se calculó la evapotranspiración. Para ello se adopta el concepto básico de calcular la Evapotranspiración Real (ETR) en función de la Evapotranspiración Potencial (ETP) conforme las características físicas del medio evaporante y del contenido de agua en el suelo. El cálculo de la ETP mensual puede realizarse por cualquiera de las metodologías de uso corriente conforme a los datos climatológicos disponibles de la región a evaluar (Penman 1956, Thornthwaite & Mather 1955.). Las determinaciones por distintas metodologías arrojaron resultados que varían entre 672 y 830 mm/año.

2 MARCO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO

Las formaciones que atraviesan el área estudiada y sus correspondientes nomenclaturas (Castro, 2013) se exponen en forma resumida en la Figura 2. Las características tanto locales como regionales, guardan relación con una serie de interrupciones que el ciclo fluvial ha tenido y que en forma recurrente actuó desde el Pleistoceno hasta la actualidad (Malagnino, 1989). Tales eventos se hallan estrechamente vinculados con profundos cambios climáticos (alternancia de períodos áridos y húmedos) que afectaron el régimen de los ríos emisarios de centros glaciares, fenómeno que dio lugar a la participación de otros procesos morfológicos, tales como eólicos o fluviales. El efecto tuvo lugar cuando estos sistemas fluviales dejaron de ser funcionales o mostraron mermas severas en sus caudales por efecto de capturas, desvíos y/o anarquía en sus cabeceras por vulcanismo. Las mismas han originado un relieve característico en la región (Castro, 2009), tal como trata de reflejarse en la Figura 3. De esta manera las acumulaciones arenosas localizadas en las planicies aluviales abandonadas quedaron sometidas a los efectos de enérgicos procesos eólicos y comenzaron a ser deflacionadas y movilizadas, estructurándose de este modo un campo de arenas integrado por médanos de predominancias longitudinales compuestas, diferenciando diversas unidades tales como planicies arenosas, medanosas,

médanos fijos, móviles, cubetas de deflación, etc., donde todos y cada uno de ellos le confieren al recurso una marca química característica. Es destacable entonces la importancia que la geomorfología adquiere para la presencia de las aguas subterráneas, su quimismo y en la morfología y fluctuación de la capa freática, favoreciendo los procesos de interacción entre la zona no saturada y la hidrogeología del lugar y que tienen una considerable importancia en lo que se refiere fundamentalmente al funcionamiento hidrodinámico e hidroquímico.

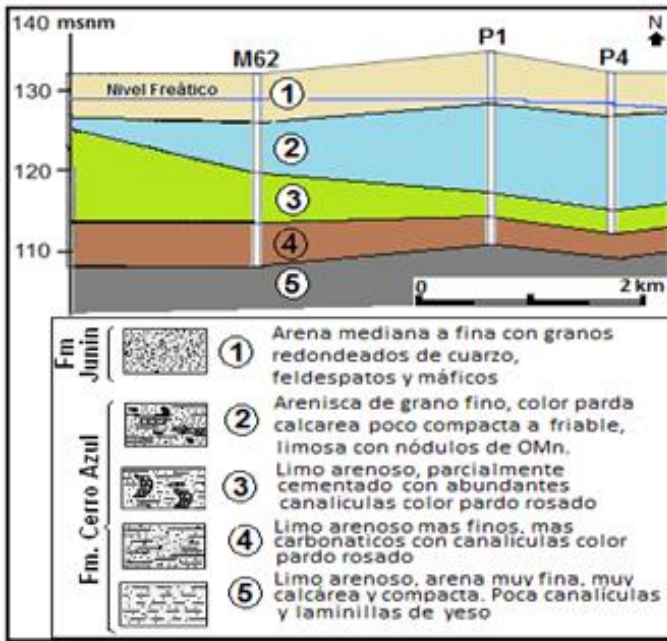


Figura 2. Perfil Estratigráfico AA' - SSW-NNE

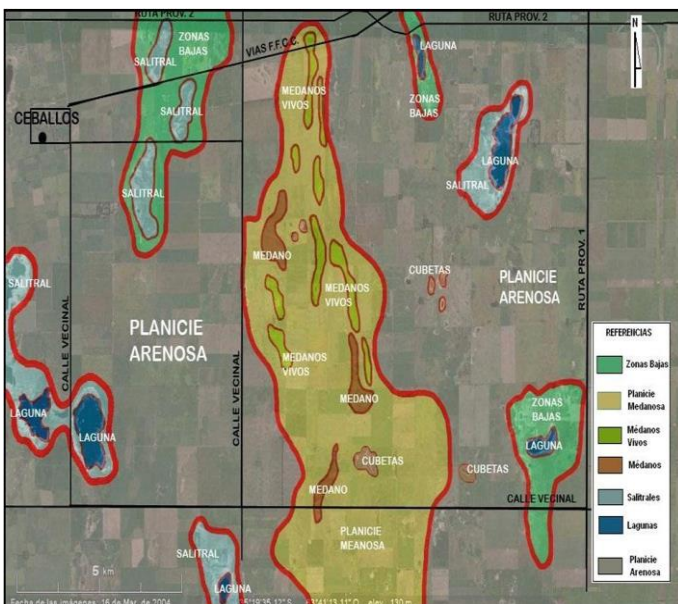


Figura 3. Rasgos Geomorfológicos locales.

3. MARCO HIDROGEOLÓGICO

Los espesores saturados alojados en el miembro inferior de la Formación Junín, (CFI, 1970), sobrepuesta a la Formación Cerro Azul (Linares et al. 1980) pre-

sentan una permeabilidad relativamente elevada, en el orden de los 10-20 m/día, constituyendo ambos una sola unidad acuitarda. No obstante ello en algunos sectores a pesar de su litología predominantemente limo-arenosa presentan muy buenas características hidráulicas con caudales de hasta 32 m³/h, una Porosidad Eficaz de 4,5 10⁻² y un caudal característico de 7,3 m³/h.m para pozos de sólo 20 m de profundidad (Castro, 2013). Si bien el escurrimiento regional es netamente hacia el NE de ésta región, la variabilidad morfológica determina distintas situaciones en cuanto a la dinámica del agua subterránea. Las formas elevadas del relieve se comportan como áreas de recargas, presentando valores que oscilan entre el 11 y 16% de las precipitaciones, según la metodología de cálculo empleada (Castro, 2013), en tanto que las amplias depresiones o incluso las pequeñas de ubicación intermedanasos, actúan como áreas de descarga, ya sea formando lagunas o bañados. Las áreas de conducción se localizan tanto en los sectores intermedios entre los anteriores, como en aquellas extensiones de relieve predominantemente llano y con suave pendiente oriental. Este acuífero presenta aguas con un contenido salino total comprendido entre 300 y 1400 mg/L, típicamente de 500 mg/L que son explotables para consumo humano y son de carácter bicarbonatado sódico.

4 RESULTADOS

Del análisis e interpretación de los análisis físico-químicos, de las 32 muestras de agua recolectadas en perforaciones y molinos del área de estudio, a través de métodos estadísticos convencionales, además de las determinaciones como el cálculo de la Fuerza Iónica (Stumm & Morgan 1996, Appelo & Postma 2005), Cálculos de Índices de Saturación mediante el software PHREEQC, versión 2.18.00 (Parkhurst & Appelo 1999), cálculo del coeficiente de actividad (Appelo & Postma 2005), surge que las aguas subterráneas en el área presentan una importante variedad de facies hidroquímicas. En primer lugar y como consecuencia de la recarga directa procedente de la médanos fijos y móviles, el agua presenta facies bicarbonatadas cálcicas siempre que se considere los primeros metros de la zona saturada. A partir de allí y hacia los flancos de la zona medanosa aumenta su mineralización en el sentido del flujo y en profundidad. Ello responde a dos procesos geoquímicos: el primero referido al equilibrio con los minerales carbonatados, en zonas altas de recarga, de rápida infiltración que se ubican en la parte superior del acuífero, en tanto que el segundo se relaciona principalmente a la disolución de minerales que se lleva a cabo en las aguas de las capas inferiores, arenas limosas, que subyacen a las arenas descriptas.

En el caso del ion calcio la tendencia al aumento está menos acentuada que la del ion bicarbonato. Ello

probablemente se corresponde a algún proceso químico, como por ejemplo haber alcanzado el KPS que daría como resultado la precipitación de calcita, sin dejar de considerar que los procesos de intercambio de iones y de hidrólisis de silicatos, por las características sedimentológicas del acuífero portante, deben ser importantes en el área y será motivo de un estudio futuro. Además, puede citarse de la observación directa de los resultados de los análisis físico-químicos y los cálculos realizados, que gran parte de la química del agua observada en la zona está controlada por minerales carbonáticos y que a medida que aumenta la concentración de los SDT, también aumentan las concentraciones de Ca^{+2} y HCO_3^- , tal como se observa en las Figuras 4 y 5, como resultado de la interacción del agua subterránea con los carbonatos del acuífero. La presencia de calcretas (Toscas) o rocas carbonáticas dominantes en la zona, inclusive de manera pulverulenta, es un fenómeno ampliamente comprobado en la región, donde principalmente estarían compuestas por minerales como calcita preponderantemente y aragonita, además de la presencia, aunque en menores proporciones, de otros minerales.

encuentran arenas más gruesas y que el loess recién se encuentran en la parte superior de la Fm Cerro Azul (Linares et al. 1980) entre 9 y 12 m de profundidad. Ello sin dudas se vincula con la precipitación de minerales, donde debe resaltarse la importancia de fenómenos tales como la hidrólisis y consecuentemente los intercambios iónicos que devienen de ella, que amerita en un futuro y como continuación del presente trabajo, un estudio más en detalle de tal fenómeno.

4.1 Modelo conceptual hidrogeológico

En función de lo expuesto hasta el presente, amerita consignar entonces que se puede inferir que, debido principalmente a las distintas áreas geomorfológicas que determinan distintas zonas de recarga, conducción y descarga, las aguas subterráneas en la zona de estudio presentan distintas facies hidroquímicas que se pueden plantear en el modelo conceptual hidroquímico (Fig. 6) donde se diferencian los siguientes grupos:

a) En primer lugar y como consecuencia de la recarga directa procedente de las precipitaciones en el área central del acuífero caracterizada por un cordón medanoso con rumbo S-N, que ha manera de “horqueta” y/o puntas de flecha se bifurca en dos ramas, una oriental y otra occidental. En esta geoforma existen dos caracterizaciones condicionadas por la profundidad: a.1) Si se extrae agua alojada en las arenas del miembro basal de la Formación Junín (CFI, 1970), presenta una facie predominantemente Bicarbonatada Cálcica y mixtas. Son las captaciones correspondientes a molinos. a.2) Si en las mismas zonas anteriores se penetra más en el acuífero y la extracción es una mezcla de agua que corresponde al sector arenoso de la formación antes mencionada y una buena parte de la Formación Cerro Azul (Linares et al. 1980), las aguas tienen características de facies Bicarbonatadas Sódicas y también Cloruradas y/o Sulfatadas sódicas.

b) Esta zona está representada geomorfológicamente por las planicies medanosas, las zonas interdunales (Malagnino 1989) o intermedanos, y es la zona de transferencia o conducción. Aquí la caracterización hidroquímica es Cloruradas o sulfatadas sódicas.

c) La tercera zona correspondería a zonas topográficamente bajas, de descarga y que se encuentran en forma saltuaria dentro de la zona de estudio y fundamentalmente en el sector NNE donde hay evidencias de salitral y zonas pantanosas. Su caracterización hidroquímica por lo general es Clorurada y/o sulfatadas sódicas con alta mineralización.

La descripción de estas tres zonas, coincide también con un incremento progresivo del grado de mineralización en el sentido del flujo al acercarnos a las zonas de descarga, aunque sus valores máximos, superiores a los 3500 mg/L de SDT, corresponden a

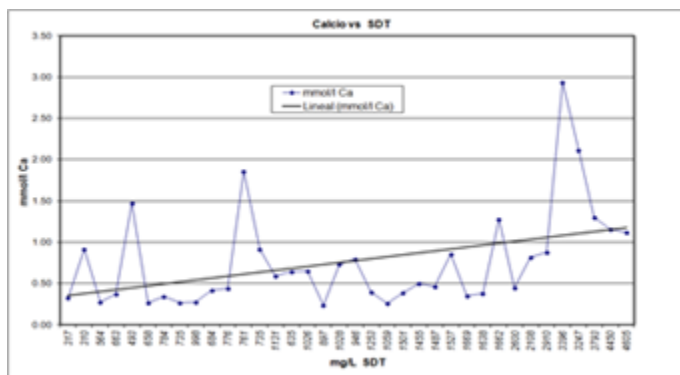


Figura 4. Relación proporcional Ca^{+2} vs. SDT.

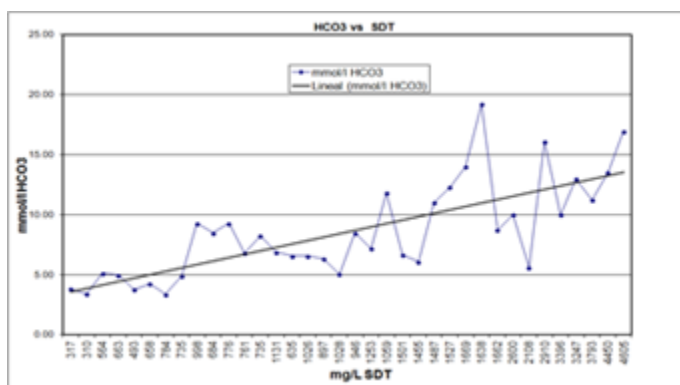


Figura 5. Relación proporcional entre CO_3H^- vs. SDT.

En lo que respecta a las relaciones iónicas, son coherentes los resultados con aguas de tipo continental con influencia de terrenos ricos en silicatos de magnesio donde en longitudes de áreas muy pequeñas se producen rápidos cambios. En efecto, en la zona estudiada los resultados de los análisis granulométricos han indicado que en los niveles superiores se encuentran hasta los 8 m preponderantemente fracciones de arena fina a media, debajo de la cual se



Figura 6: Modelo Hidrogeoquímico

aquellas aguas afectadas por la disolución, constituyendo típicas facies Cloruradas Sódicas.

5. DISCUSIÓN

Se estima que se trataría de un sistema abierto con mezclas de aguas debido a las diferentes litologías por las que transitan y a sedimentos detríticos en cuya mineralogía dominan los silicatos presentando sectores, por ejemplo en gran parte de la Formación Cerro Azul (Linares et al. 1980) muy cementadas con carbonatos, yesos, etc., que son las que determinan la existencia de iones Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} y HCO_3^- .

Merece destacarse asimismo la importancia del papel que desempeña la hidrólisis y el intercambio iónico. En efecto, en la zona estudiada los resultados de los análisis granulométricos han indicado que en los niveles superiores se encuentran hasta los 8 m de profundidad, preponderantemente fracciones de arena fina a media debajo de la cual se observan arenas más gruesas y que el loess recién comienza a visualizarse en la parte superior de la Fm. Cerro Azul (Linares et al. 1980) entre 9 y 12 m de profundidad. Esto sin dudas se vincula con la precipitación de minerales, donde debe resaltarse la importancia de fenómenos tales como la hidrólisis y consecuentemente los intercambios iónicos que devienen de ella y que amerita la continuación de estudios más en detalle de tal fenómeno.

6. REFERENCIAS

Appelo, C. & D. Postma. 2005. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema. Rotterdam. ISBN 90 5410 105 9239-295. 536 p.

Cano E., Casagrande G., Conti H.A., Fernandez B., Hevia R., Lea Plaza J.C., Maldonado Pinedo D., Martinez H., Montes M.A. & Peña Zubiarte C.A. 1980. *Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa-Clima, Geomorfología, Suelo y Vegetación*. INTA-Gobierno de La Pampa-UNLPam, 493 p, Santa Rosa, Argentina.

Castro, E. 2009. *Análisis Hidrogeológico y Modelo Conceptual del funcionamiento del acuífero de Intendente Alvear*. La Pampa. Argentina. Tesis de Magister en Ciencias Hídricas.

Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, Argentina. 191 p. Inédito.

Castro, E. 2013. *Estudio Hidrogeológico del acuífero que provee de agua potable a Intendente Alvear*. Provincia de La Pampa. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba. Argentina. 219 p.

Chebli, G. A., M. E. Mozetic, E. A. Rossello & Bühler, M. 1999. *Cuencas sedimentarias de la llanura Chacopampeana*. En Caminos R. (Ed.): *Geología Argentina, 50-52. Servicio Geológico Minero Argentino*. Buenos Aires, Argentina.

Consejo Federal de Inversiones, CFI. 1970. *Informe Técnico Hidrogeológico Provincia de La Pampa*. Inédito. Convenio CIAS-CFI. Comité de Investigación de Aguas Subterráneas. La Plata. Buenos Aires, Argentina.

Linares E., Llambías E. & Latorre C. 1980. "Geología de la Provincia de La Pampa y Geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas". *RAGA. Tomo XXXV, N°1. pp.87-146*. Buenos Aires, Argentina.

Malagnino, E. 1989. *Paleoformas de origen eólico y sus relaciones con los modelos de inundación de la Provincia de Buenos Aires*. IV Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. IX Reunión Planetaria SELPER. PP.611-620. Bariloche.

Parkhurst, D. D & Appelo, C., 1999. *User's Guide to PHREEQC A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations*

Penman H. L. 1956. *Evaporation. An introductory survey*. Neth. J. Agric. Sci: 4: 9-29

Stumm, W. & Morgan, J. J. 1996. *Aquatic Chemistry .3 Ed John Wiley & Sons inc. 1022 pp*. New York, USA.

Thornthwaite, C.W. 1948. *An approach toward a rational classification of climate. Reprinted from the Geographical Review, XXXVIII 1: 55-74*.

Thornthwaite, C. W. & Mather, J. 1955. *Instrucciones y tablas para el cómputo de la evapotranspiración potencial y el balance hídrico*. INTA, Instituto de Suelos y Agroecología. Bol. Interno 46 1967. Buenos Aires.