



FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

Universidad Nacional de La Pampa

**“EVALUACIÓN DE LA RECARGA BAJO DISTINTOS
ESCENARIOS PLUVIOMÉTRICOS EN EL ÁREA DEL
VALLE ARGENTINO, PROVINCIA DE LA PAMPA”**

MONTAGNA, Christian Omar

**TESINA PRESENTADA PARA OBTENER
EL GRADO ACADÉMICO DE
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2021

Prólogo

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Cátedra de Hidrología Subterránea dependiente del Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UNLPam y la coparticipación de la Administración Provincial del Agua (A. P. A), durante el período comprendido entre diciembre de 2020 y septiembre de 2021, bajo la dirección del Dr. Eduardo E. Mariño y bajo el asesoramiento técnico de la Ing. Natalia A. L. Loyola.

Septiembre de 2021

A handwritten signature in blue ink is positioned over a horizontal dotted line. The signature is stylized and appears to be the name of the author or a representative of the institution.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de La Pampa y la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por brindarme el financiamiento y las herramientas necesarias para completar mi formación de grado y proporcionarme una educación pública, gratuita, de calidad y laica.

A Eduardo Mariño, por depositar su confianza en mí y aceptar el compromiso de dirección de este trabajo. Por su dedicación, amabilidad y apoyo científico brindado durante el transcurso del mismo.

A Natalia Loyola, quien no pudo integrar la codirección por cuestiones reglamentarias y de igual forma encaró este proyecto con un profesionalismo indiscutible. Por su valiosa colaboración y acompañamiento desde el comienzo y por transmitirme su pasión por la hidrogeología.

A la comisión evaluadora, integrada por Lorena Ceballos y Carina Arroyo, cuyas correcciones y sugerencias fueron de gran ayuda.

A la Administración Provincial del Agua (A.P.A), principalmente a Carlos Gandi, por brindarme los recursos logísticos e informáticos para llevar a cabo este proyecto.

A mi familia, por su apoyo y sostén durante todos estos años.

A mis amigos y amigas, quienes están pendiente de mis avances y siempre esperan mi regreso.

A las personas que conocí durante mi etapa universitaria y se convirtieron en grandes amistades, por acompañarme y permitirme acompañarlos en nuestro crecimiento personal y profesional, por alentarme, alegrarse y apoyarme de manera incondicional.

Septiembre de 2021



RESUMEN

En los sistemas hídricos pampeanos, los recursos superficiales son escasos y los acuíferos, sobre todo los ubicados en zonas medanosas, constituyen los reservorios de agua más relevantes con que cuenta la provincia para su desarrollo socioeconómico. Tal es el caso del acuífero libre del Valle Argentino, donde el cordón medanoso central actúa como área de recarga, mientras que los salitrales, lagunas y depresiones marginales conforman el área de descarga. La cuantificación del agua que ingresa al sistema y, por ende, que puede extraerse para diversos usos, es indispensable para garantizar un uso racional y sostenible del recurso. Para esto, una variable que se utiliza es la recarga y si bien existen diversas técnicas para su estimación, elegir la más adecuada es a menudo complejo.

La metodología utilizada consistió en la resolución del balance hídrico a través del código *Visual Balan* y el análisis de fluctuaciones del nivel freático, con el objetivo de cuantificar la recarga del acuífero libre del Valle Argentino ubicado en la región centro-oriental de la provincia de La Pampa y determinar su variabilidad en distintos escenarios de precipitación. Como puntos de control se eligieron las localidades de Chacharramendi, General Acha y Macachín y los parajes El Carancho y Resguardo Padre Buodo, con módulos pluviométricos aproximados a los 30 años, a excepción de El Carancho que se redujo según la disponibilidad de datos.

Los valores anuales obtenidos variaron entre 12,95 mm (2,98% de las precipitaciones) y 71,15 mm (9,4% de las precipitaciones) para el balance hídrico y entre 23,1 mm (6,7% de las precipitaciones) y 58,4 mm (11% de las precipitaciones) para el análisis de fluctuaciones de niveles freáticos, los cuales se consideran dentro de los rangos razonables.

Los resultados permitieron verificar la variabilidad de la recarga y avanzar en el conocimiento del funcionamiento hidrodinámico del sistema-acuífero Valle Argentino con la finalidad de establecer un modelo hidrogeológico conceptual coherente con la información existente y con la generada a partir de este estudio.

ABSTRACT

In the Pampean hydric systems the superficial resources are scarce and aquifers, mainly those which are located in sandy areas, constitute the most relevant water reservoirs that the province has for its socioeconomic development. Such is the case of the free aquifer of the Valle Argentino, where the central sand dunes system acts as a recharge area, while the saline and freshwater ponds and marginal depressions make up the discharge area. The quantification of the water that enters into the system and, thus, that it can be extracted for various uses, is essential to guarantee a rational and sustainable use of the resource. For this, a variable that is used is the recharge and although there are several techniques for its estimation, choosing the most appropriate is often complex.

The methods used consisted in the resolution of the water balance through the *Visual Balan* code and water-table fluctuation method, with the aim of quantifying the recharge of the free aquifer of the Valle Argentino located in the central-eastern region of La Pampa's province and determine its variability for different precipitation scenarios. As control points, the towns of Chacharramendi, General Acha and Macachín and the spots of El Carancho and Resguardo Padre Buodo were used, with rainfall modules close to 30 years, except for El Carancho, which was reduced according to data availability.

The annual values obtained varied between 12.95 mm (2.98% of rainfall) and 71.15 mm (9.4% of rainfall) for the water balance and between 23.1 mm (6.7% of rainfall) and 58.4 mm (11% of rainfall) for the water-table fluctuation method, which are considered within reasonable ranges.

The results allowed to verify the variability of the recharge and to advance in the knowledge of the hydrodynamic functioning of the Valle Argentino aquifer system to establish a conceptual hydrogeological model consistent with the existing information and with that generated from this study.

INDICE

INTRODUCCIÓN	7
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
Área de estudio.....	10
Metodologías.....	17
Balance hídrico	17
Análisis de fluctuaciones de niveles freáticos	26
RESULTADOS	29
Balance hídrico.....	29
Análisis de fluctuaciones de los niveles freáticos	42
DISCUSIÓN	46
CONCLUSIÓN	49
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXO	56

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, alrededor del 37,2% de la superficie puede clasificarse como tierras semiáridas, áridas o hiperáridas, siendo las semiáridas las de mayor extensión (17,7%), seguidas por las áridas (12,1%) y las hiperáridas (7,5% restante) (UNEP, 1992). Estas áreas tienen en común la escasez de recursos hídricos, principalmente superficiales (de Vries y Simmers, 2002) y en consecuencia el desarrollo socioeconómico se encuentra condicionado, casi exclusivamente, al aprovechamiento del agua subterránea (Abiye, 2016). Las interacciones entre los flujos superficiales y subterráneos son especialmente estrechas en estos ambientes (Martínez, 2006). Para analizar estas interacciones y sus relaciones con los demás componentes del ciclo hidrológico, se pueden utilizar modelos de flujo, donde adquieren relevancia conceptos como escorrentía, infiltración, percolación, recarga y descarga, entre otros (Sahuquillo, 2008).

Particularmente, la recarga puede definirse como el mecanismo de entrada de agua a las reservas subterráneas que genera un ascenso en el espesor saturado (Custodio Gimena, 1998; Sophocleous, 2002 y Scanlon *et al.*, 2002). Lerner *et al.* (1990) y Simmers (1997) han conceptualizado tres tipologías de recarga: directa, indirecta y localizada. La recarga directa es aquella proveniente de los excedentes del balance entre las precipitaciones y la evapotranspiración, que ingresa por percolación vertical a la zona saturada. La recarga indirecta implica la percolación desde cuerpos o cursos de agua superficial hacia el acuífero. Y la recarga localizada es aquella que deriva de movimientos horizontales del agua superficial en ausencia de canales bien definidos. Si bien todos los procesos anteriormente mencionados pueden actuar de manera conjunta (Murillo, 2004), su ocurrencia se encuentra condicionada por una conjunción de factores geológicos, geomorfológicos, climáticos, edáficos y biológicos (Moeck *et al.*, 2020).

Consecuentemente, la influencia de los diferentes factores hace que la estimación de la recarga sea compleja y presente cierto grado de incertidumbre (Sophocleous, 2002). Su evaluación, sin embargo, se puede realizar de manera directa o indirecta a través de métodos que consideren los componentes, procesos y mecanismos que intervienen en la dinámica hídrica subterránea (Lerner *et al.*, 1990). Algunos de los más utilizados son los balances hidrológicos, el análisis de fluctuaciones de los niveles freáticos, la cuantificación de la pérdida de caudal de los cursos influentes, los modelos numéricos y los trazadores ambientales como el ion cloruro (Scanlon *et al.*, 2002 y Álvarez *et al.*, 2013). Es importante

destacar que cada método presenta ventajas y desventajas, por ello es aconsejable el uso de múltiples técnicas para poder comparar los resultados y lograr una estimación más precisa al contrarrestar el error asociado a cada uno (Simmers, 1997 y Healy y Cook, 2002).

La provincia de La Pampa se caracteriza por poseer tres zonas hídricas definidas como subhúmeda seca, semiárida y árida, siendo el elemento diferenciador entre las zonas el balance entre las precipitaciones y la evapotranspiración (Cano *et al.*, 1980). En términos generales, en los sistemas hídricos pampeanos las precipitaciones constituyen la principal entrada, mientras que la evapotranspiración compone la principal salida (Cano *et al.*, 1980), siendo ésta última superior en dos tercios de la provincia. Por estas razones, los recursos superficiales son escasos y los acuíferos, principalmente ubicados en zonas medanosas, constituyen los reservorios de agua más relevantes con que cuenta la provincia. Esto se debe a las características geomorfológicas y geológicas asociadas a estos ambientes, que le confieren condiciones preferenciales para una recarga predominantemente directa (Mariño y Schulz, 2008).

Tal es el caso del acuífero libre del Valle Argentino, situado en la región centro-oriental de la provincia (Giai y Tullio, 1998), donde el cordón medanoso central actúa como área de recarga, mientras que los salitrales, lagunas y depresiones marginales conforman el área de descarga (Mariño y Schulz, 2008). El acuífero, por sus propiedades hidráulicas y composición hidroquímica, es la única fuente de agua potable para varias localidades que se ubican en el área, siendo General Acha la más importante demográficamente. Además abastece a los establecimientos rurales de la zona para uso agropecuario y también posee un uso industrial, destinado a una fábrica de paneles de yeso (Schulz, 2004).

Desde la perspectiva del desarrollo sustentable y en pos de lograr un uso racional de estos recursos, es sustancial conocer la dinámica propia de los acuíferos y cómo se comportan los niveles cuando se los somete a explotación (Sahuquillo *et al.*, 2009). Para esto es necesario establecer un modelo hidrogeológico que proporcione la información correspondiente para garantizar una gestión integral que es vital para la sostenibilidad ambiental y el desarrollo socioeconómico de la región (Singh *et al.*, 2019). Adicionalmente, la ubicación estratégica e importancia del Valle Argentino provoca una demanda social por parte de los habitantes ligados a su aprovechamiento, lo cual en ocasiones puede generar conflictos entre los distintos actores sociales (Tapia, 1999). Por los motivos mencionados anteriormente, y en busca del aprovechamiento sostenible de este recurso, se considera de interés estimar la

recarga del acuífero libre del Valle Argentino utilizando diferentes metodologías y así poder complementar y actualizar los resultados obtenidos en trabajos previos.

Uno de los antecedentes que formulan las primeras consideraciones sobre la recarga del acuífero es el estudio hidrogeológico de la Hoja General Acha (Cavalié, 1985), quien asume una recarga media anual de 50 mm. La Universidad Ben Gurion (1998) elaboró un informe sobre las posibilidades de riego y otros usos en el sector comprendido entre Padre Buodo y Chacharramendi, donde estima que la recarga anual oscila entre 22 y 64 mm/año. Otro aporte relevante fue realizado por Schulz (2004), quien estimó la recarga por diferentes métodos y obtuvo un rango amplio de resultados (entre 0 y 57 mm). Más recientemente, Mariño *et al.* (2018) obtuvieron valores promedio de recarga que oscilan entre 35 y 53 mm para el sector comprendido entre General Acha y Resguardo Padre Buodo.

Se aspira a que los resultados de esta Tesina, aporten un insumo fundamental para la confección de un modelo hidrogeológico conceptual, que a su vez es importante para lograr una correcta gestión de los recursos hídricos subterráneos en el área de estudio.

Objetivo general

- Estimar la recarga en el acuífero libre del Valle Argentino y analizar su variabilidad espacial en distintos escenarios pluviométricos.

Objetivos específicos

- Evaluar la dinámica del nivel freático bajo distintos escenarios pluviométricos.
- Indagar en las relaciones entre las variables involucradas en el proceso de recarga.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Valle Argentino se extiende desde la localidad de Chacharramendi por el oeste, prolongándose hacia la provincia de Buenos Aires por el este, con una extensión total de 210 km, dentro del territorio provincial, y un ancho que varía entre los 5 km y 15 km (Giai y Tullio, 1998) (Figura 1). En el área de estudio se asientan, entre otras, las localidades de Chacharramendi ($37^{\circ}19'51.45''\text{S} - 65^{\circ}38'56.45''\text{O}$), General Acha ($37^{\circ}22'40.72''\text{S} - 64^{\circ}36'15.37''\text{O}$) y Macachín ($37^{\circ}8'13.85''\text{S} - 63^{\circ}40'1.42''\text{O}$) y los parajes Resguardo Padre Buodo ($37^{\circ}18'25.32''\text{S} - 64^{\circ}17'17.47''\text{O}$) y El Carancho ($37^{\circ}26'50.03''\text{S} - 65^{\circ}2'40.87''\text{O}$), que se tomaron como puntos de interés para realizar los cálculos pertinentes para alcanzar los objetivos del presente trabajo (Figura 2).

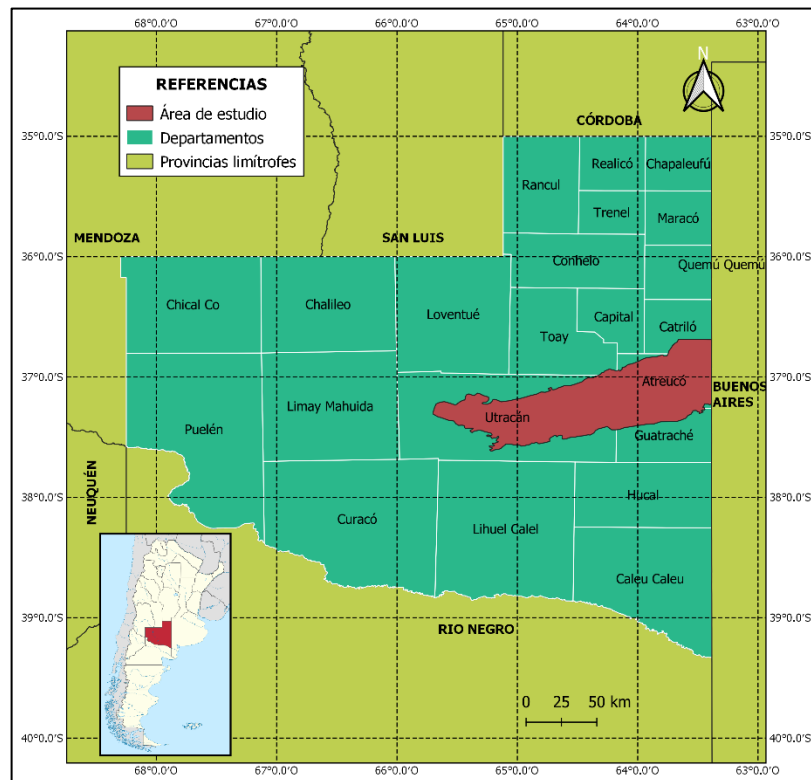


Figura 1. Mapa de la provincia de La Pampa con la ubicación del área de estudio.

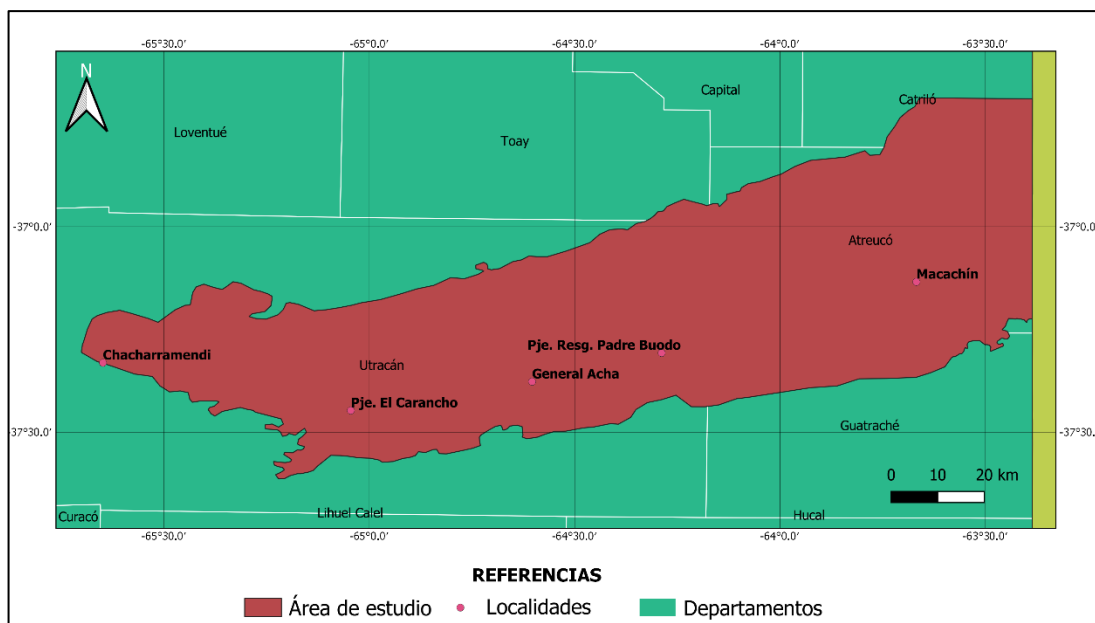


Figura 2. Área de estudio con las localidades y parajes tomados como punto de interés.

Según los datos del último censo realizado (INDEC, 2010), la población de las localidades de interés totaliza más de 18.000 habitantes (Figura 3). Se excluyeron los parajes El Carancho y Resguardo Padre Buodo dado que estas unidades territoriales no poseen datos censales oficiales.

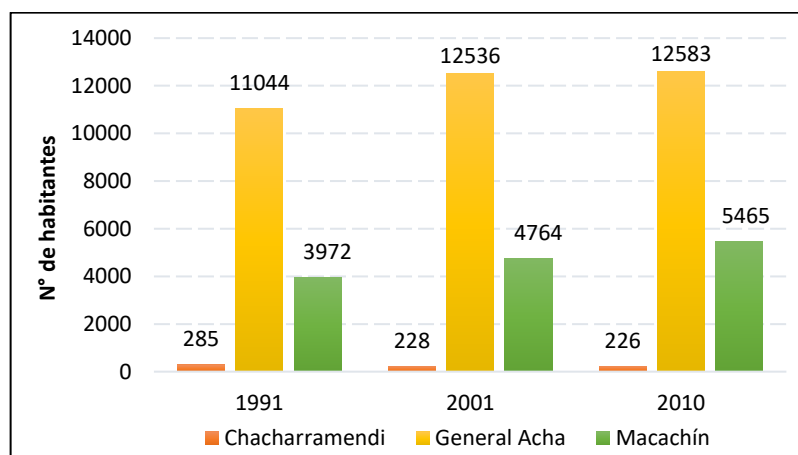


Figura 3. Evolución demográfica intercensal (1991 – 2010) de las localidades de Chacharramendi, General Acha y Macachín (INDEC, 2010).

Según el Inventario de Recursos Naturales de la provincia de La Pampa (Cano *et al.*, 1980), el Valle se encuentra dentro de la subregión de las Mesetas y Valles, emplazado en la región Oriental (Figura 4). Asimismo, integra la unidad geomorfológica de médanos y valles transversales (Calmels, 1996). Con respecto al relieve, se puede apreciar la presencia de

mesetas, pendientes, valles y cordones medianosos, con una orientación poco pronunciada de SO a NE (Galea, 2017).

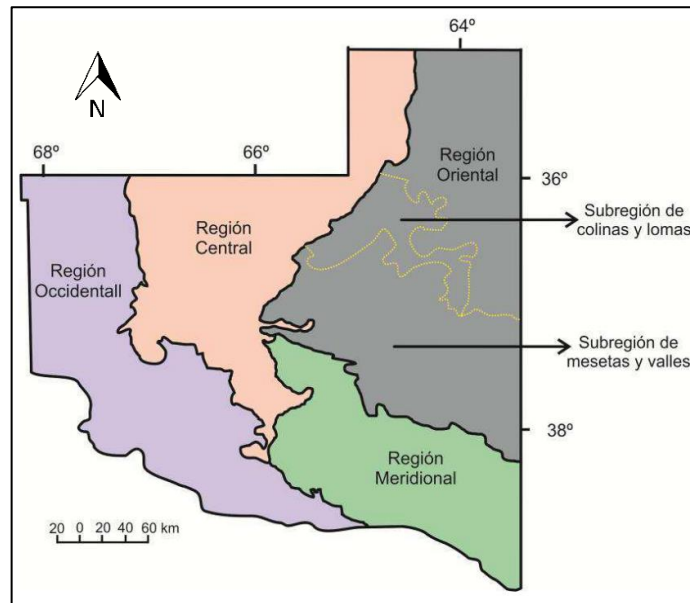


Figura 4. Regiones y subregiones fisiográficas de la Provincia de La Pampa (Lorenzo, 2012).

Climatológicamente el acuífero se encuentra comprendido entre las isohietas de 500 mm y 800 mm (Figura 5) y entre las isolíneas de evapotranspiración real de 400 mm y 700 mm (Figura 6), proporcionándole características semiáridas en el sector occidental y subhúmedas secas en el oriental. Las precipitaciones aumentan longitudinalmente hacia el este y presentan una marcada estacionalidad con picos en los meses de transición (marzo – abril y septiembre – octubre), alcanzando los máximos en el mes de marzo, y una estación invernal típicamente seca (Secco *et al.*, 2012). Con respecto a la temperatura, el Valle se caracteriza por medias mensuales que oscilan entre 22,3 °C en verano y 7,6 °C en invierno, aumentando hacia el este según lo expuesto por Cano *et al.* (1980).

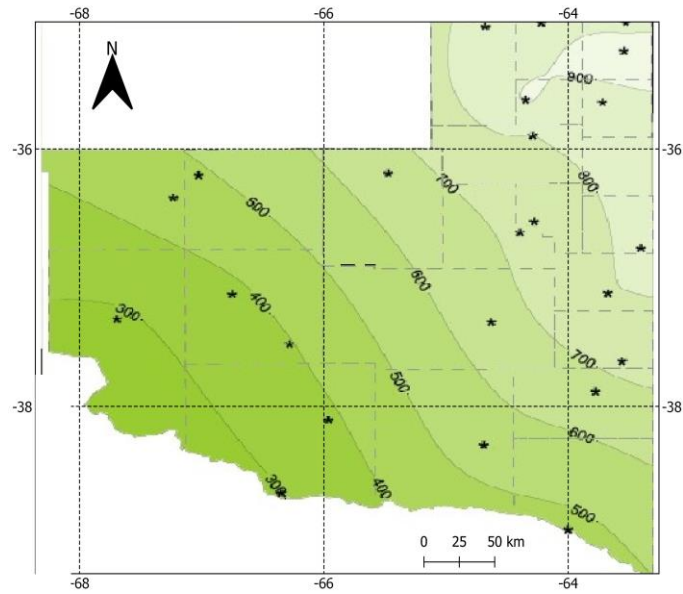


Figura 5. Distribución espacial de las precipitaciones medias anuales para La Pampa (1962 – 2009) (Secco *et al.*, 2012).

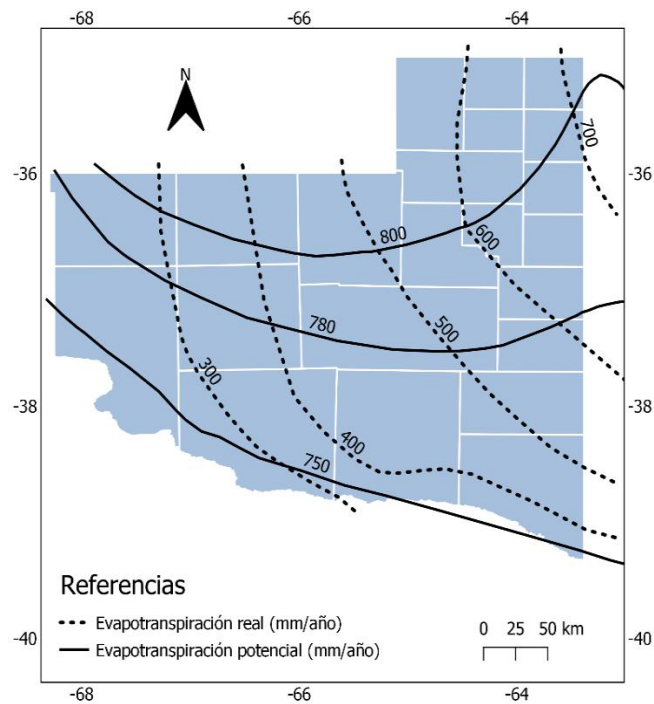


Figura 6. Isolíneas de evapotranspiración potencial (mm/año) y evapotranspiración real (mm/año) correspondientes a la provincia de La Pampa (adaptado de Cano *et al.*, 1980).

El sistema hídrico subterráneo está constituido por un único acuífero multicapa (Giai y Tullio, 1998), caracterizado por un flujo con dirección preferente hacia el E, NE y SE que se ajusta con la geomorfología regional (Salazar Lea Plaza, 1975 y Cavalié, 1985) (Figura 7). Morfológicamente en el área se pueden identificar cuatro subsistemas hidrogeológicos

(Figura 8): 1) Planicies elevadas con la presencia de mantos de tosca, que le proporcionan una calidad de agua con usos limitados; 2) Cordón medanoso central de origen eólico, donde tiene mayor relevancia el proceso de recarga con agua de excelente calidad hidroquímica para consumo humano; 3) Las depresiones ubicadas a los flancos del cordón medanoso central que funcionan como sectores de descarga, manifestándose en la presencia de lagunas y salitrales; y 4) El área con acuíferos indiferenciados ubicados en el sector oriental del sistema, caracterizado por una llanura ondulada con médanos vivos. Esta unidad es una prolongación del cordón medanoso central, con la presencia de lagunas con alto contenido salino.

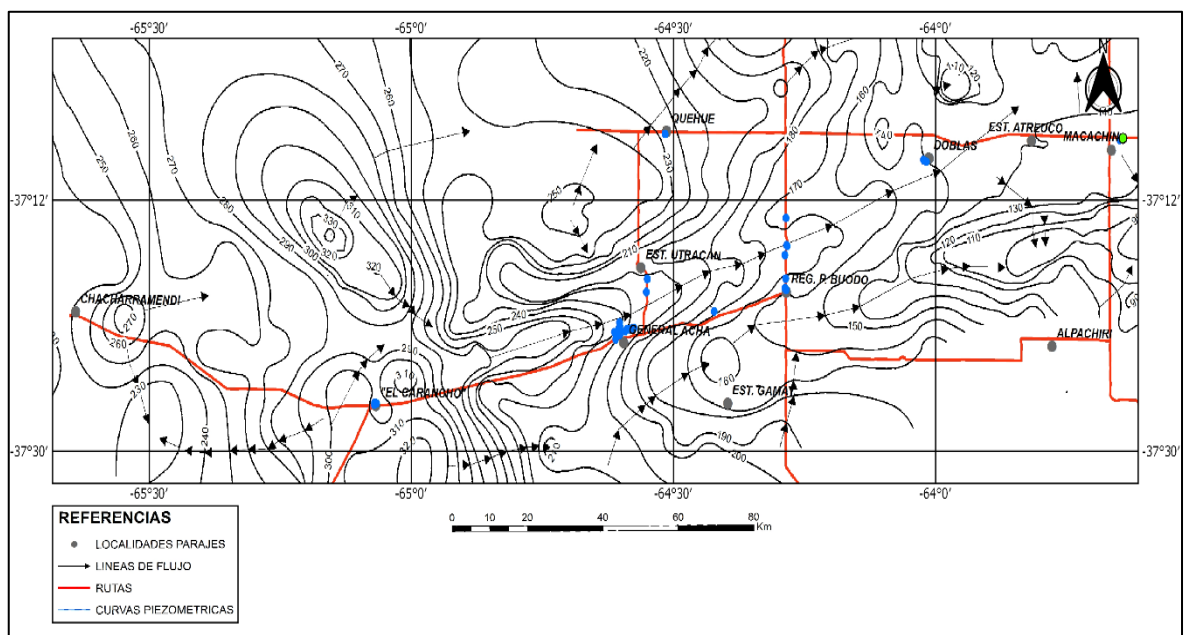


Figura 7. Mapa piezométrico del área de estudio (Consultora UNLPam, 2017).

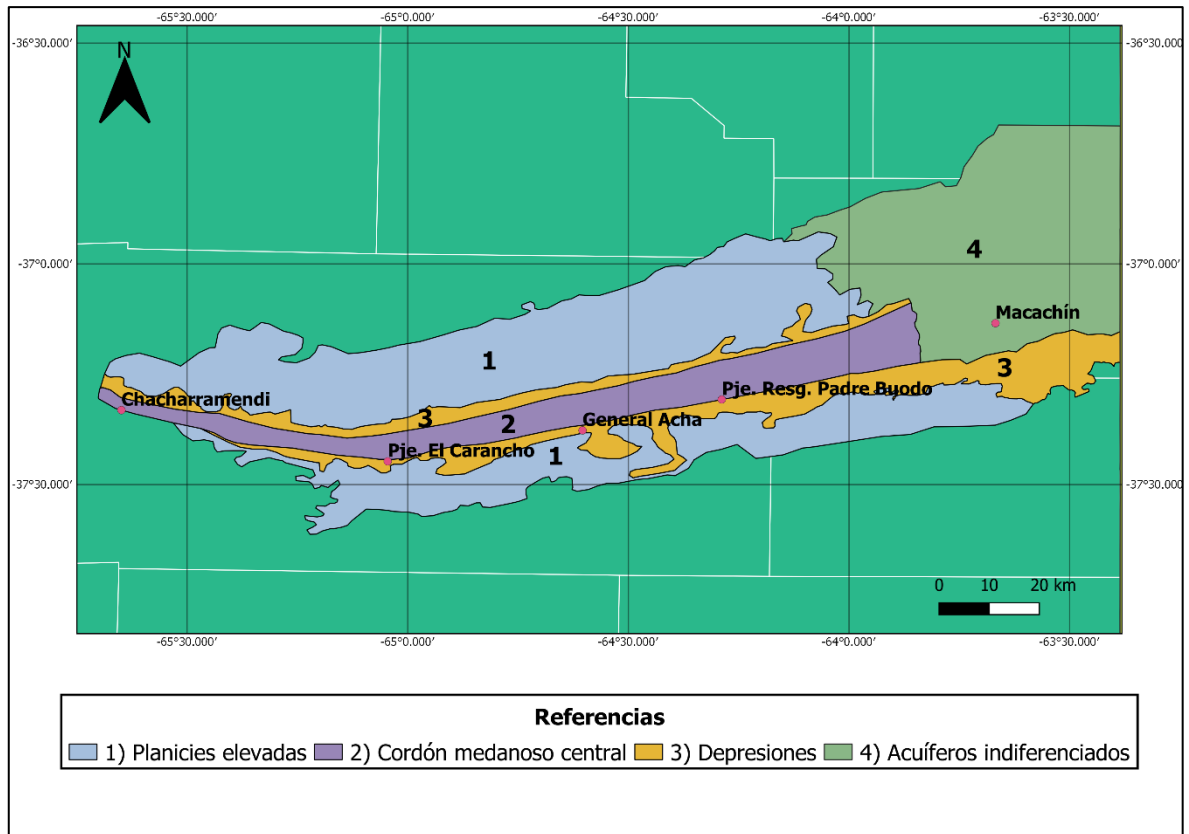


Figura 8. Subsistemas hidrogeológicos del Valle Argentino.

El marco geológico del área de estudio (Consultora UNLPam, 2017) difiere entre el sector occidental y el oriental. En el primero, las formaciones Pampa (Giai, 1975) y Padre Buodo (Tullio, 1981) se apoyan en discordancia sobre un basamento ígneo-metamórfico relativamente somero. En cambio, hacia el este se intercala la secuencia estratigráfica propia de la cuenca de Macachín (Salso, 1966) constituida por las formaciones Arata, Abramo y Macachín (Figura 9). Los términos terciarios de la formación Pampa, incorporados bajo la denominación de Formación Cerro Azul (Llambías, 1975; Linares *et al.*, 1980), son sedimentos loésicos de coloración pardo rojiza que rematan en una costra calcárea y afloran en las laderas y el fondo del Valle Argentino. Los depósitos de arenas eólicas de la formación Padre Buodo, que fueron posteriormente asignados a la Formación Meauco (Melchor y Llambías, 2004), constituyen el cordón medanoso central, con espesores medios de entre 4 y 6 m. y máximos de 15 m. Estas dos unidades son las de mayor interés para los objetivos del presente trabajo, ya que es donde se aloja el agua subterránea, con profundidades del nivel freático que varían entre 7 m. en el cordón medanoso y 100 m. en la planicie (Mariño y Schulz, 2008).

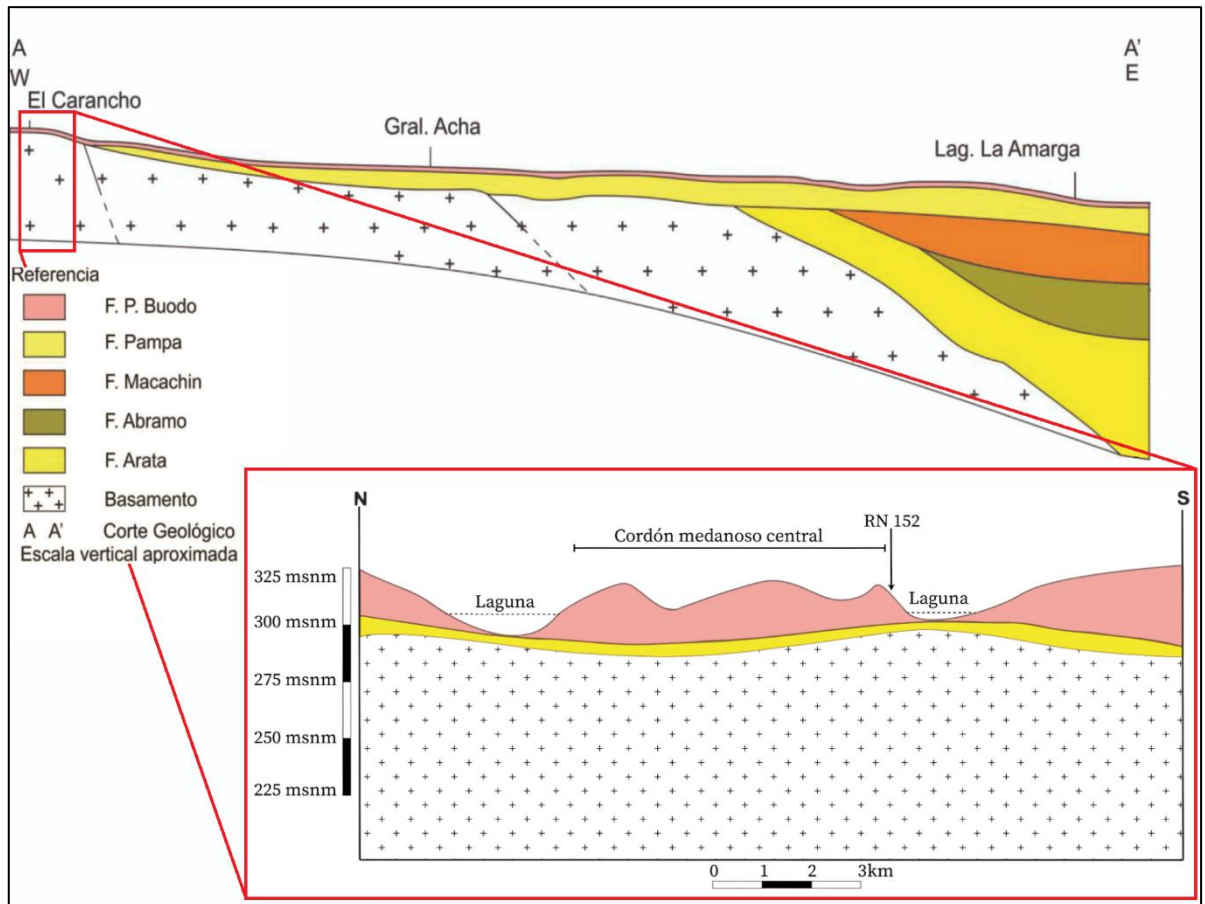


Figura 9. Perfil estratigráfico del Valle Argentino (Consultora UNLPam, 2017).

De acuerdo con estudios de suelos informados en el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa (Cano, *et al.*, 1980), la subregión se encuentra dividida en 6 unidades cartográficas con características propias. Los tipos de suelos predominantes son Torripsament ústico en los médanos y valles transversales, Haplustol éntico en planicies, lomas y mesetas con una composición textural que varía de arenosa a franca, Ustipsament típico en la región de médanos vivos y Salortid acuólicos en las áreas influenciadas por lagunas.

La vegetación es escasa y su fisonomía es de porte bajo y medio, siendo predominantemente un pastizal sammófilo con la dominancia de *Elyonurus muticus* (paja amarga) y *Hyalis argentea* (olivillo) (Cano *et al.*, 1980). Además, en la región occidental, Tullio (2006) reportó la presencia de *Prosopis caldenia* (caldén) en zonas medanosas. En los alrededores de los cuerpos de agua también se puede encontrar vegetación herbácea del tipo halófito como pueden ser *Distichlis scoparia* (pelo de chancho), *Distichlis spicata* (pasto salado) y *Atriplex undulata* (zampa crespá).

Metodología

Para el desarrollo de esta tesina se procedió a realizar un modelo hidrológico conceptual del sistema-acuífero comprendido en el cordón medanoso central del Valle Argentino. Con la finalidad de cuantificar valores medios anuales de recarga se utilizaron dos metodologías. Las mismas fueron seleccionadas en función de la viabilidad de aplicación y disponibilidad de información del área de estudio, siendo éstas el balance hídrico y el análisis de fluctuaciones de niveles freáticos (Figura 10).

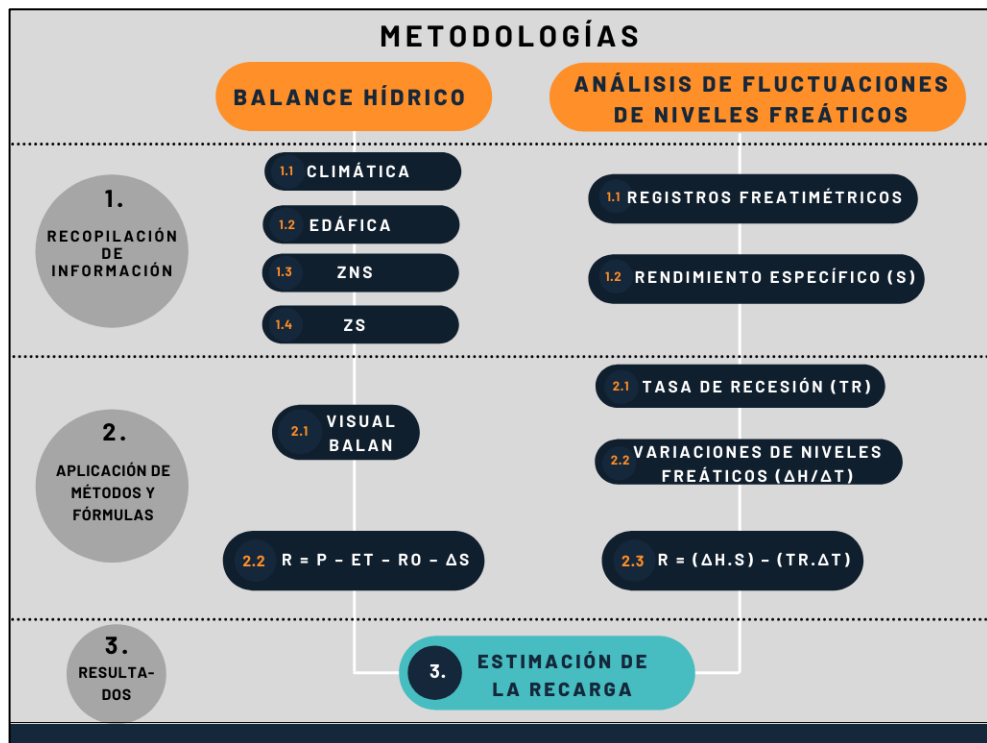


Figura 10. Diagrama de flujo de las metodologías empleadas para la estimación de la recarga.

Balance hídrico

El balance hídrico (Figura 11) consiste en aplicar el principio de conservación de masa a una región cuyo volumen es conocido (Samper Calvete, 1998). El valor de la recarga (R) se obtiene de manera indirecta a partir de la diferencia de los flujos de entrada y salida que conforman el balance hídrico.

$$R = P - ET - R_o - \Delta S$$

Siendo P: precipitación, ET: evapotranspiración, Ro: escorrentía superficial y ΔS: variación de almacenamiento de agua.

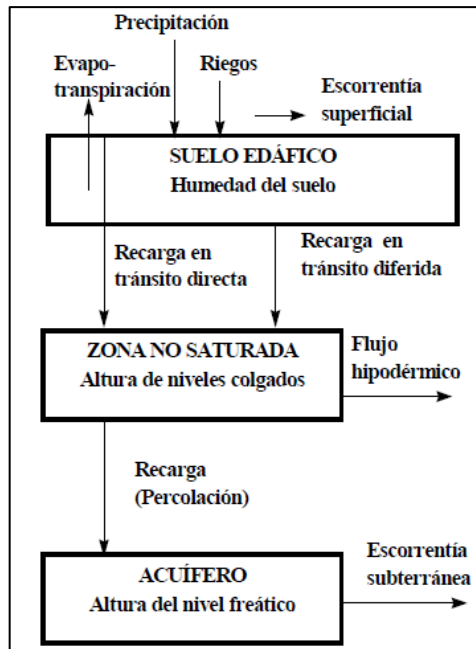


Figura 11. Modelo conceptual del balance hídrico y los principales procesos que allí ocurren (Samper *et al.*, 2005).

El cálculo del balance de agua se ejecutó a través del código *Visual Balan* (Figura 12), que resuelve ecuaciones de balances hidrológicos diarios de forma integrada a partir de la sectorización del sistema en tres componentes: el suelo edáfico, la zona no saturada y la zona saturada (Samper *et al.*, 2005). Esta metodología fue empleada para el período 1990 – 2019 en General Acha y en uno de los pozos ubicados en cercanías al paraje Padre Buodo, mientras que, en función de la disponibilidad de datos, se subdividió en el pozo restante de Padre Buodo (serie 1 de 1990 – 2002 y serie 2 de 2017 – 2019) y se redujo para Chacharramendi (1996 – 2018), Macachín (1995-2019) y paraje El Carancho (2014 – 2019).

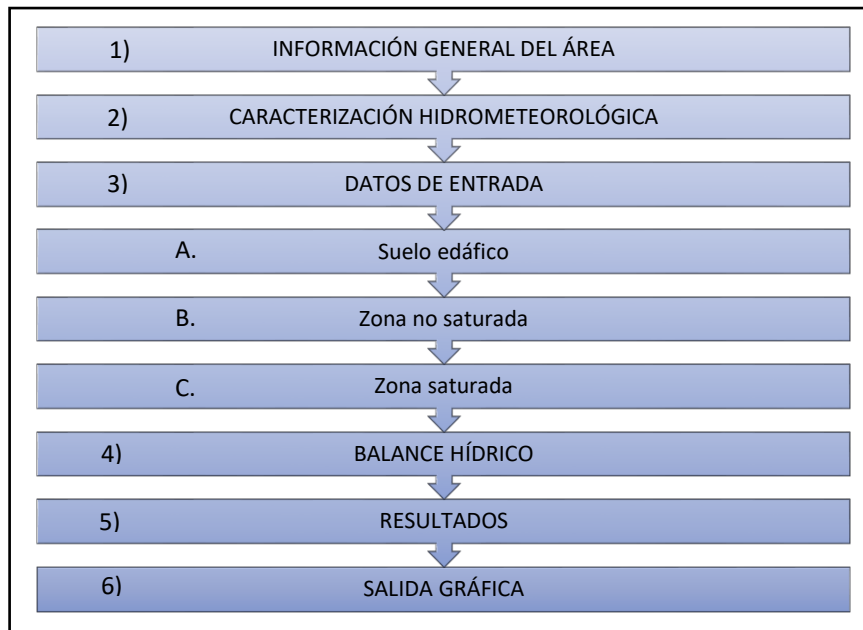


Figura 12. Funcionamiento general del código *Visual Balan* v. 2.0. (Adaptado de Samper *et al.*, 2005).

La caracterización hidrometeorológica se efectuó en base a registros diarios de precipitación y temperatura recopiladas de estaciones pluviométricas y meteorológicas, instaladas en el área de estudio y operadas por la Administración Provincial del Agua. Con los datos pluviométricos se construyeron histogramas (Figuras 13, 14, 15, 16 y 17) dónde se puede observar una tendencia positiva oeste – este, con un valor mínimo en Chacharramendi de 435,7 mm y un máximo de 753,7 mm en Macachín, que concuerda con la distribución espacial típica de las precipitaciones en la provincia. Adicionalmente, se calcularon las variaciones interanuales a partir de la desviación de los valores anuales medios con respecto a su media anual histórica, identificándose períodos secos (valores inferiores a 0) y húmedos (valores superiores a 0), representados en las Figuras 18, 19, 20, 21 y 22.

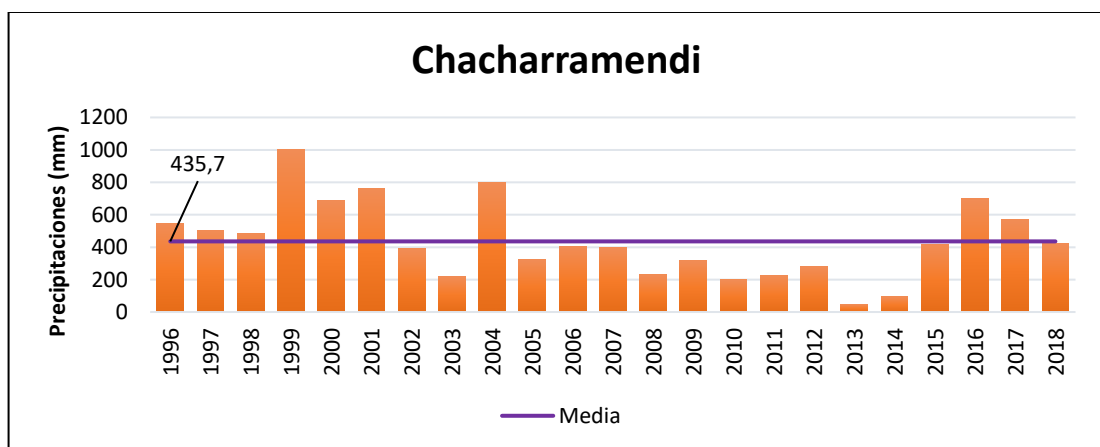


Figura 13. Histograma de precipitación media anual en Chacharramendi (1996 – 2018).

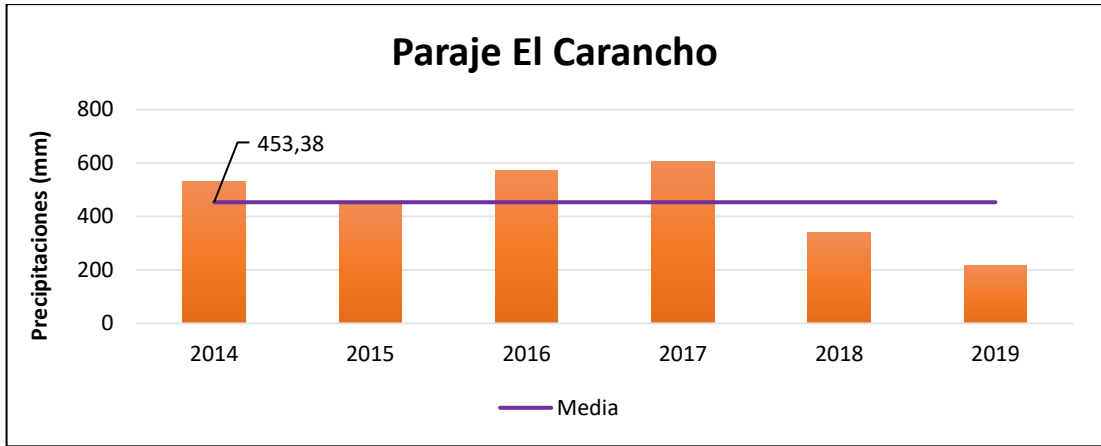


Figura 14. Histograma de precipitación media anual en el paraje El Carancho (2014 – 2019).

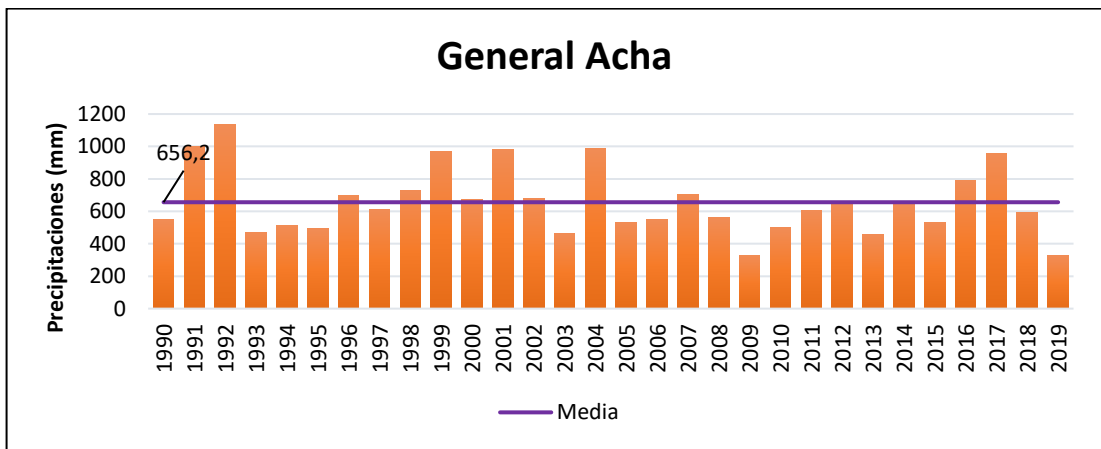


Figura 15. Histograma de precipitación media anual en General Acha (1990 – 2019).

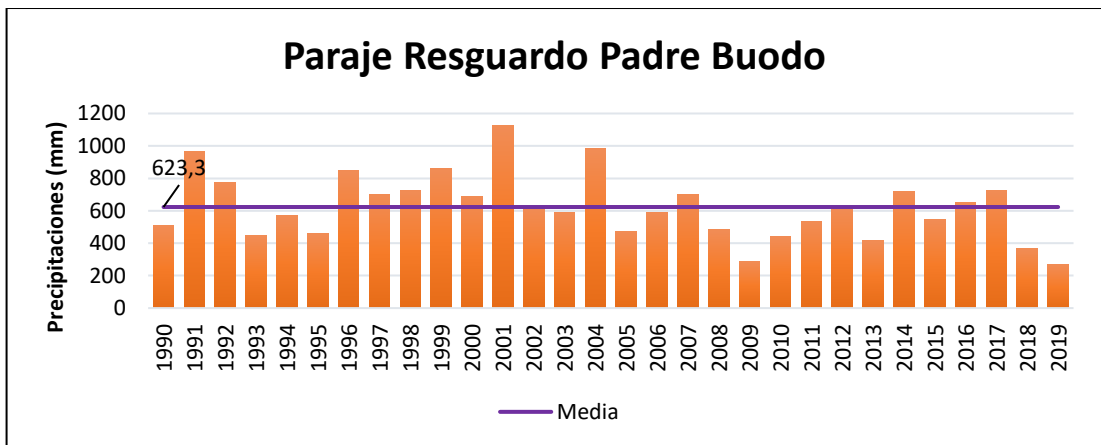


Figura 16. Histograma de precipitación media anual en el Paraje Resguardo Padre Buodo (1990 – 2019).

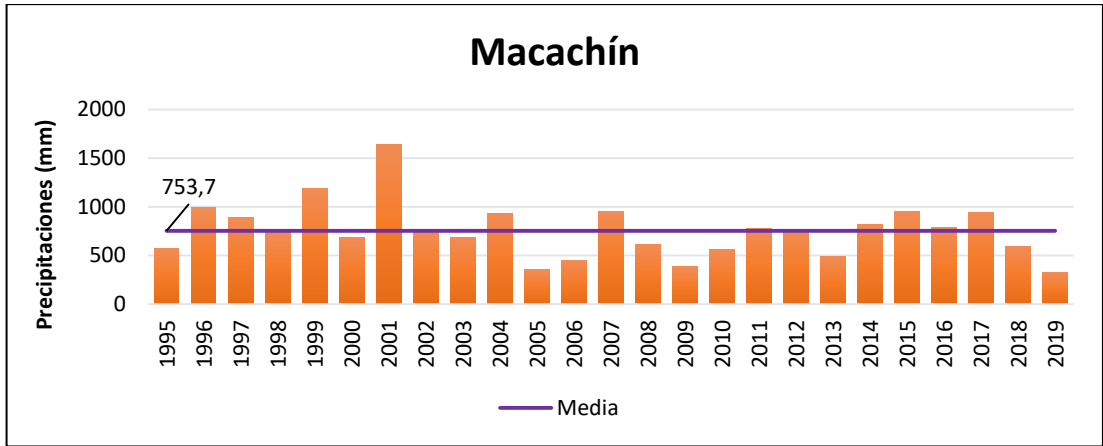


Figura 17. Histograma de precipitación media anual en Macachín (1995 – 2019).

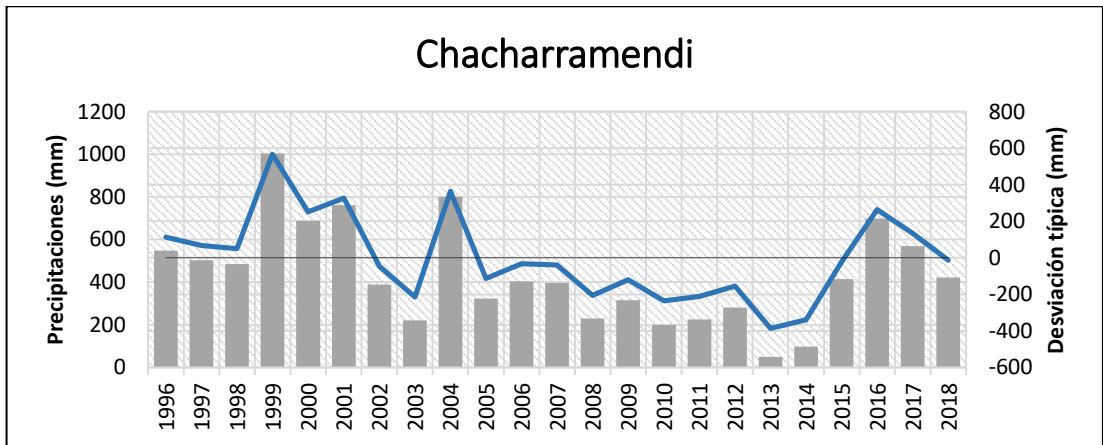


Figura 18. Desviaciones típicas (mm) de las precipitaciones de Chacharramendi (1996 – 2018).

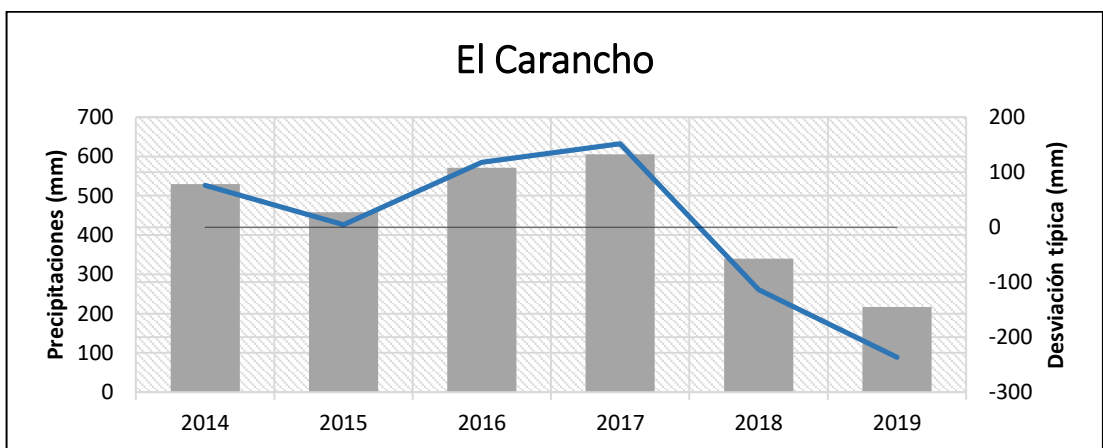


Figura 19. Desviaciones típicas (mm) de las precipitaciones de El Carancho (2014 – 2019).

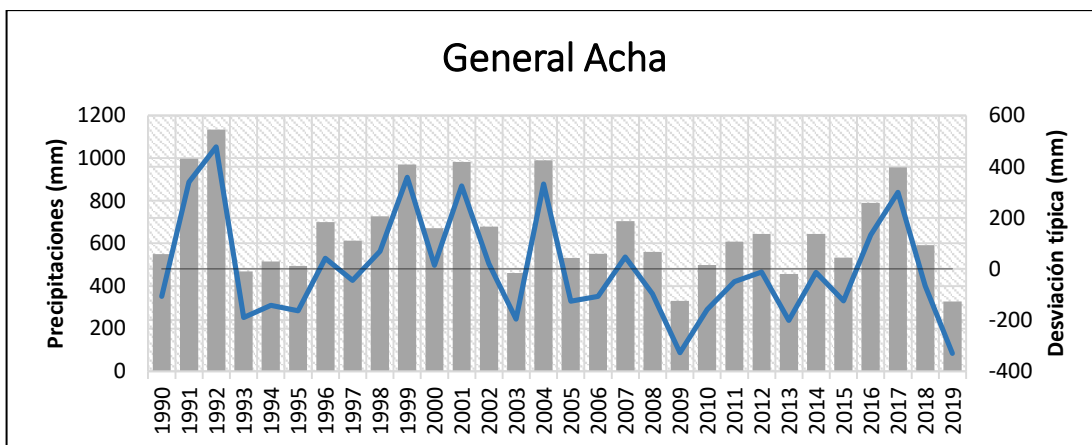


Figura 20. Desviaciones típicas (mm) de las precipitaciones de General Acha (1990 – 2019).

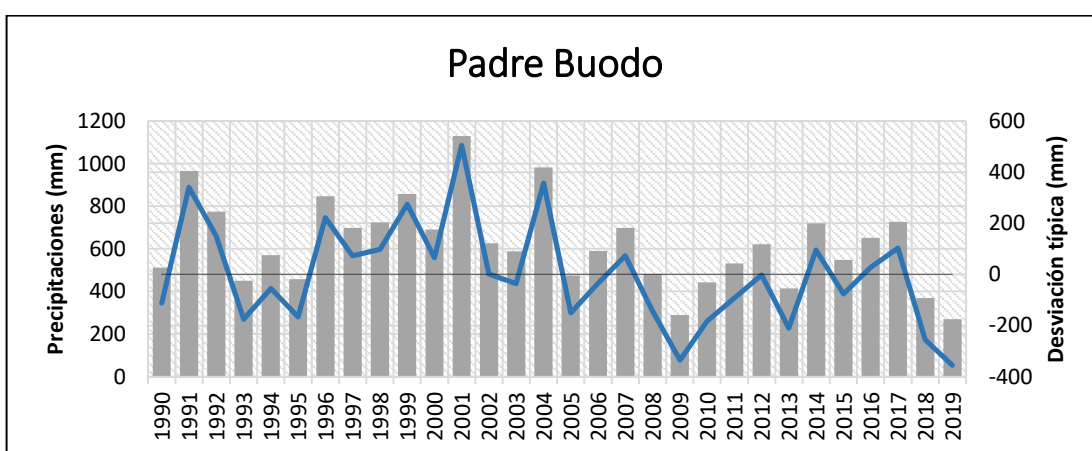


Figura 21. Desviaciones típicas (mm) de las precipitaciones de Padre Buodo (1990 – 2019).

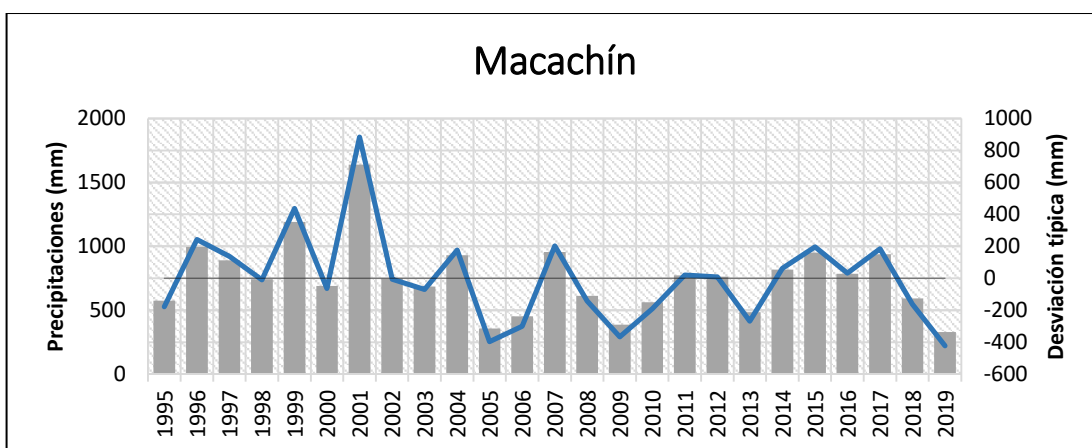


Figura 22. Desviaciones típicas (mm) de las precipitaciones de Macachín (1995 – 2019).

Los valores de temperatura para General Acha y Resguardo Padre Buodo fueron tomados del Servicio Meteorológico Nacional – Estación La Elba (1976 – 1996), para Macachín se utilizaron los provistos por el Inventario de Recursos Naturales de La Pampa (1941 – 1960)

(Cano *et al.*, 1980), mientras que para Chacharramendi (1996 – 2019) y Paraje El Carancho (2014 – 2019) se utilizaron los registros obtenidos por las estaciones meteorológicas operadas por la Administración Provincial del Agua. La evapotranspiración potencial (ETP) fue calculada a partir del método de Thornthwaite (1948) (Tabla 1), mientras que la evapotranspiración real (ETR) se calculó en función de la ETP con el método lineal que dispone *Visual Balan*.

Tabla 1. Valores medios (mm) de ETP de las localidades y parajes seleccionados como puntos de control.

	Chacharramendi	Paraje El Carancho	General Acha	Paraje Resguardo Padre Buodo	Macachín
Período	1996 - 2019	2014 - 2019	1976 - 1996	1976 - 1996	1941 - 1960
MEDIA	829,8	789,2	750,8	750,8	794,3

Los parámetros de Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) fueron calculados a partir del porcentaje de arcilla, limo y arena de cada perfil (Fuentes y Cruz, 1990), atendiendo la naturaleza del tipo de suelo predominante de cada zona. Los datos para su estimación fueron extraídos del Inventario de Recursos Naturales de La Pampa (Cano *et al.*, 1980), a excepción de Macachín que se utilizaron los porcentajes texturales obtenidos por Dillchneider *et al.* (2019). Los valores de reserva de agua útil (RAU) se determinaron como la diferencia entre el contenido de agua máximo que puede almacenar el suelo, asociado a la CC, y el mínimo, vinculado al PMP.

Para la selección de pozos como puntos de control de los niveles freáticos se tuvo en consideración aquellos que se ubican en el área de recarga del Valle Argentino y no cuentan con historial de explotación. Las cotas asignadas a cada pozo fueron determinadas a partir de la confección del Modelo Digital de Elevación (MDE) con información geoespacial extraída del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2021) (Tabla 2). Los pozos escogidos se encuentran agrupados en tres grupos según su distribución espacial (Figura 23), enumerados pozo N° 2 en El Carancho, N° 8 y 9 en General Acha y N° 3/13 y 4 en Padre Buodo. El pozo N° 3/13 de Padre Buodo se dividió en dos subperíodos, de 1990 al 2002 (Pozo N° 3) y desde 2017 al 2019 (Pozo N° 13). Esto se debe a que si bien es el mismo pozo, este fue destruido en el año 2003 por la construcción del Acueducto Río Colorado y reconstruido posteriormente bajo la denominación de N° 13, perdiéndose una serie de 15 años de registros. Mientras que para los casos de Chacharramendi y Macachín la aplicación del

balance de agua se realizó sin control debido a que no cuentan con frentímetros en sus alrededores.

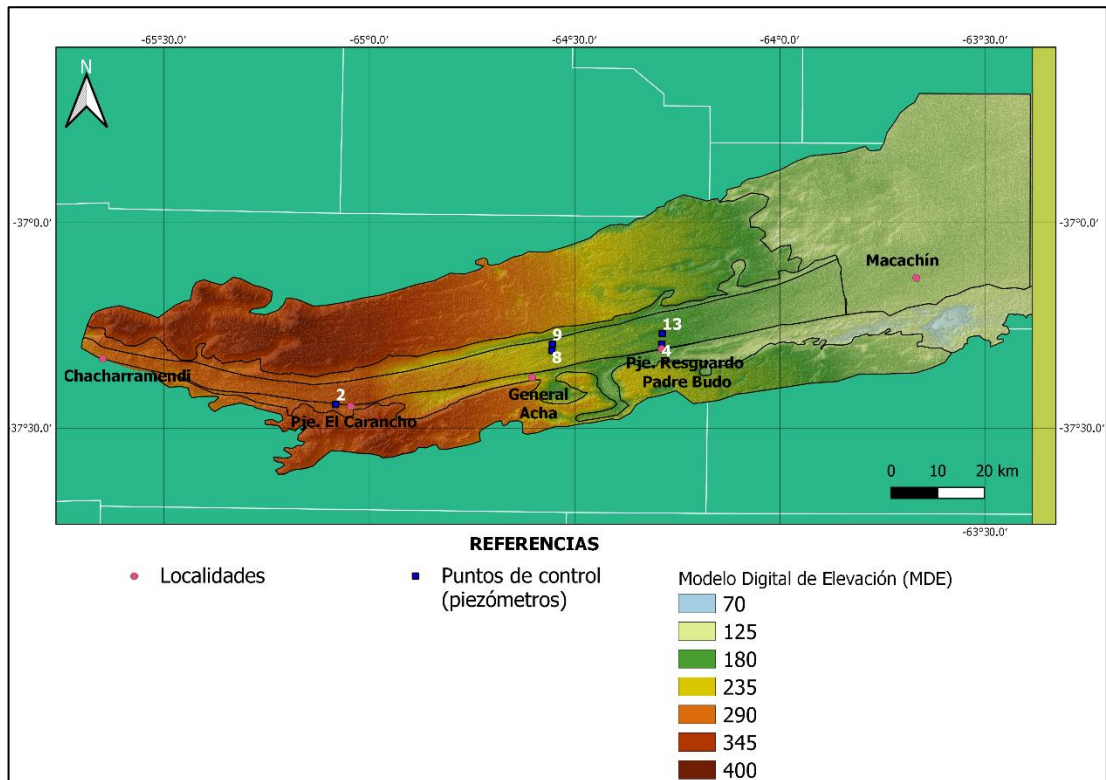


Figura 23. Modelo Digital de Elevación (MDE) en msnm realizado a partir de imágenes extraídas del IGN de 30 m. de resolución del área de estudio y la ubicación de localidades y parajes con sus correspondientes puntos de control.

Tabla 2. Cotas (msnm) de los pozos calculadas mediante el Modelo Digital de Elevación del IGN.

Localidades	Pozo N°	Coordenadas geográficas	Cotas (msnm)
Paraje El Carancho	2	37°26'32.00" S - 65°4'56.70" O	310,6
General Acha	8	37°18'40.10" S - 64°33'19.90" O	217,41
	9	37°17'45.00" S - 64°33'15.20" O	220,98
Paraje Resguardo Padre Budo	4	37°17'43.00" S - 64°17'17.30" O	198,01
	3/13	37°16'11.90" S - 64°17'12.40" O	182,73

El resto de los datos de entrada requeridos, correspondientes a la zona no saturada y saturada, se tomaron de antecedentes o fueron calibrados por el mismo programa (Tabla 3).

Tabla 3. Variables y parámetros utilizados para estimar la recarga a través del *Visual Balan*.

	Variables / Parámetros	Chacharramendi	El Carancho	General Acha		Padre Buodo			Macachín
	Pozo N°	S/D	P2	P8	P9	P3	P13	P4	S/D
Datos básicos	Período	1996 – 2018	2014 – 2019	1990 – 2019		1990 – 2002	2017 – 2019	1990 – 2019	1995 – 2019
	Precipitación media anual (mm)	435,7	453,4	656,2		623,3			753,7
	ETP media anual (mm)	829,8 (1996/2019)	789,2 (2013/2019)	750,8 (1976/1995)		750,8 (1976/1995)			794,3 (1941/1960)
	ETR	Método lineal							
	CBML	17,19	17,19	31,51		31,51			71,2
	Recarga en tránsito	Cálculo por el método convencional sin flujo preferente							
Suelo	Porosidad total (%)	35							38,5
	Capacidad de Campo (%)	10,93%							14,80%
	Punto de Marchitez (%)	5,25%							7,68
	Espesor (m)	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1
	Contenido de humedad inicial (%)	5,25%							7,68%
	Conductividad hidráulica (cm/d)	0,0023148							
Zona no saturada	Coef. Agotamiento flujo hipodérmico (d ⁻¹)	-	0,89	0,87	0,89	0,85	0,78	0,81	-
	Conductividad hidráulica vert. (m/d)	-	2	2	2	2	2	2	-
	Contenido inicial de agua (mm)	-	17,19	31,51	31,51	31,51	31,51	31,51	-
	Ecuación de flujo	-	Método explícito						-
Acuífero	Discretización	-	Método de celda única						-
	Coef. Agotamiento del acuífero (d ⁻¹)	-	0,0002	0,0008 6138	0,0007 98	0,0015	0,003	0,0007	-
	Rendimiento específico	-	0,06	0,09	0,07	0,08	0,08	0,1	-
	Puntos de control	-	1 (PN°2)	2 (PN° 8 y 9)		3 (PN° 3, 13 y 4)			-
	Nivel inicial (msnm)	-	300,54	214,74	215,22	180,8	179,1	177,47	-
	Nivel de referencia (msnm)	-	300,3	213,8	213,8	180,8	178,6	176,10	-

Análisis de fluctuaciones de niveles freáticos

Por otro lado, el análisis de fluctuaciones de niveles freáticos (Healy y Cook, 2002) se basa en la suposición de que el ascenso en los niveles en un acuífero libre se debe exclusivamente a la recarga. La expresión para el cálculo de la recarga (R) es la siguiente:

$$R = (\Delta h. S) - \left[\left(\frac{Q_i - Q_o}{A} \right) \cdot \Delta t \right]$$

Donde Δh : es la fluctuación del nivel freático, S es el rendimiento específico, Q_i es el flujo subterráneo entrante, Q_o es el flujo subterráneo saliente, A es el área del acuífero y Δt es el período de tiempo considerado.

Con el propósito de estimar la recarga a través de este método, Olin (1995) simplificó la ecuación anterior al reemplazar el segundo término por la denominada tasa de recesión (TR). Para llevar a cabo esto, y siguiendo con el modelo propuesto por la autora anteriormente mencionada, se debe considerar un período sin recarga en el cual los niveles freáticos desciendan en ausencia de precipitaciones. Bajo estas condiciones se asume que la profundización de los niveles se corresponde a la diferencia entre el flujo subterráneo de entrada y de salida del área estudiada, obteniéndose así la siguiente ecuación de recarga (Mariño y Bonorino, 1996)

$$R = (\Delta h. S) - (TR. \Delta t)$$

Los registros freatimétricos (Figuras 24, 25, 26 y 27) se basaron en los que la Administración Provincial del Agua obtiene periódicamente en líneas de puntos de control próximas a la localidad de General Acha (freatímetros N° 8 y 9) y los parajes Padre Buodo (freatímetros N°3 y 4) y El Carancho (freatímetro N° 2). El período considerado fue de 1990 – 2019, a excepción de El Carancho (2013 – 2019) y el freatímetro N° 3 de Padre Buodo (1990 – 2002) por las mismas razones explicadas en el método anteriormente aplicado. De este método se descartó el P13 (2017 – 2019) dada la imposibilidad de realizar los cálculos en un período tan reducido. Para el resto de los pozos la medición de la profundidad del nivel freático, realizada por la Administración, fue con una periodicidad aproximadamente mensual. Adicionalmente, para la aplicación del método de fluctuaciones es necesario contar con el valor de Rendimiento Específico (S), en este caso se utilizó el estimado a partir del método anterior de balance hídrico.

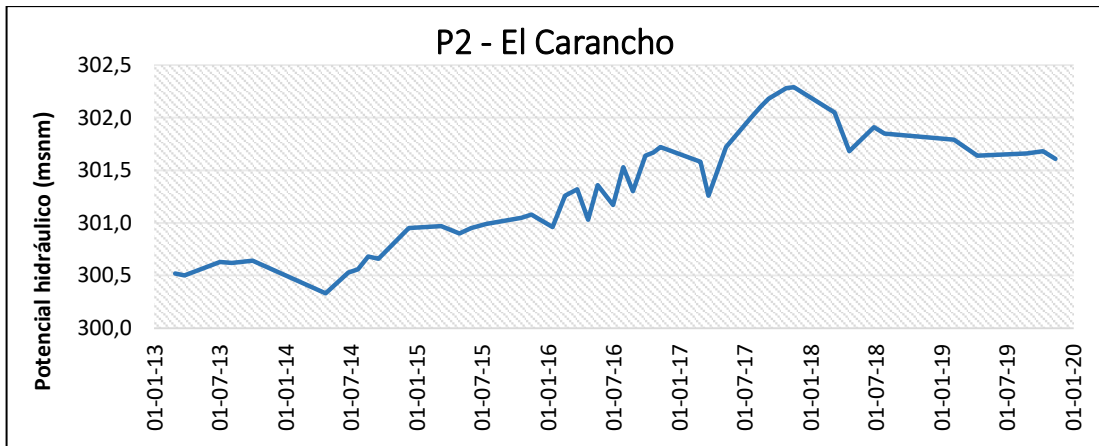


Figura 24. Variaciones del nivel freático en el freaímetro P2 de El Carancho (2013 – 2019).

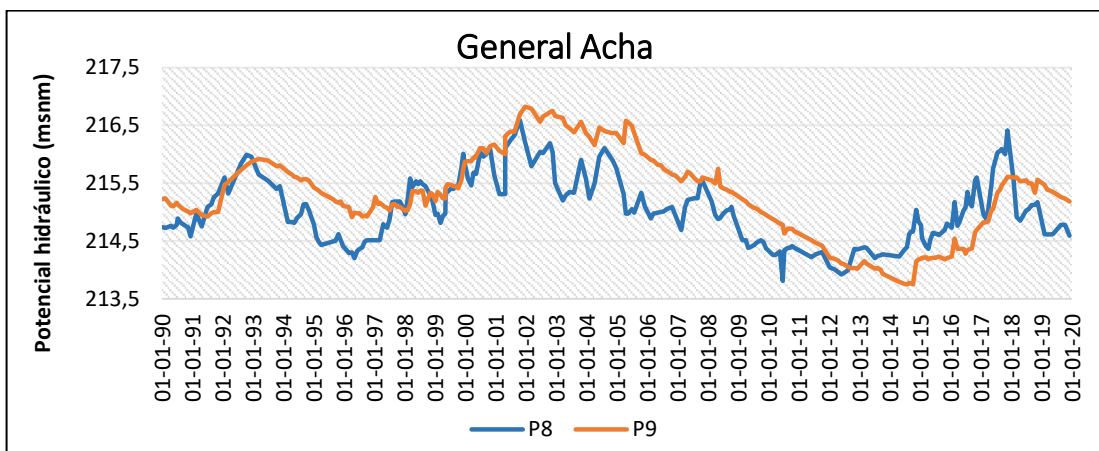


Figura 25. Variaciones del nivel freático en los freaímetros P8 y P9 de General Acha (1990 – 2019).

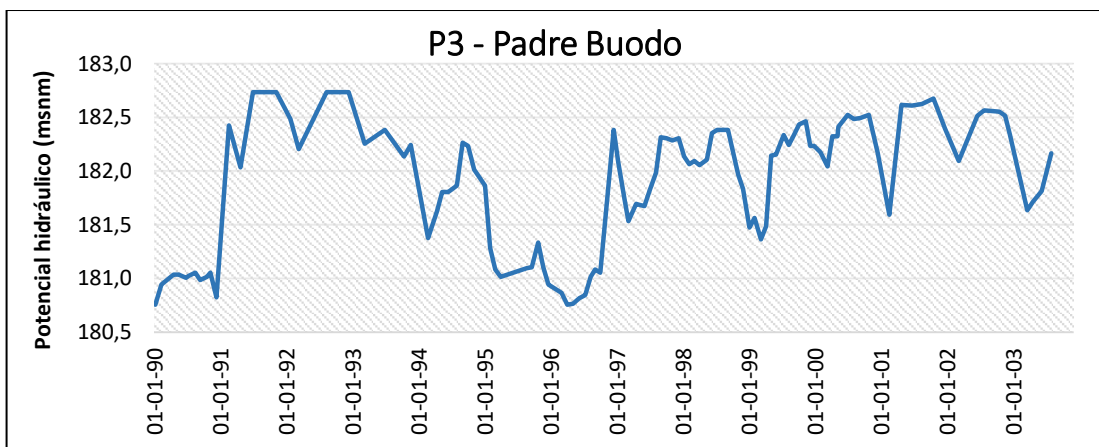


Figura 26. Variaciones del nivel freático en el freaímetro P3 de Padre Buodo (1990 – 2003).

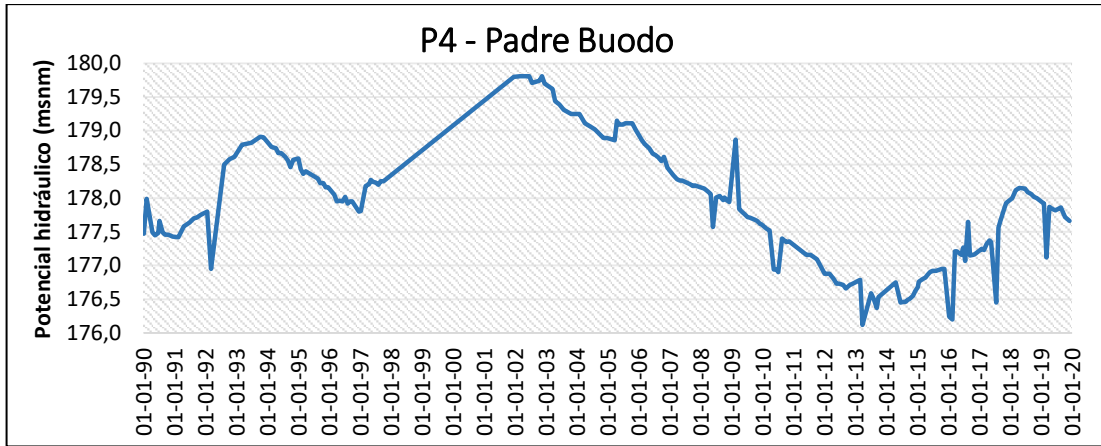


Figura 27. Variaciones del nivel freático en el freatómetro P4 de Padre Buodo (1990 – 2019).

RESULTADOS

Basado en los valores de recarga media anual obtenidos, independientemente del método empleado, y las unidades de gestión propuestas por el informe de la Consultora de la UNLPam (2017), en el área de estudio se pueden diferenciar cuatro escenarios pluviométricos (Figura 28): el occidental conformado por Chacharramendi y el paraje El Carancho de 307 km², el centro-occidental por General Acha de 308 km², el centro-oriental por el paraje Resguardo Padre Buodo de 408 km² y el oriental por Macachín de 550 km².

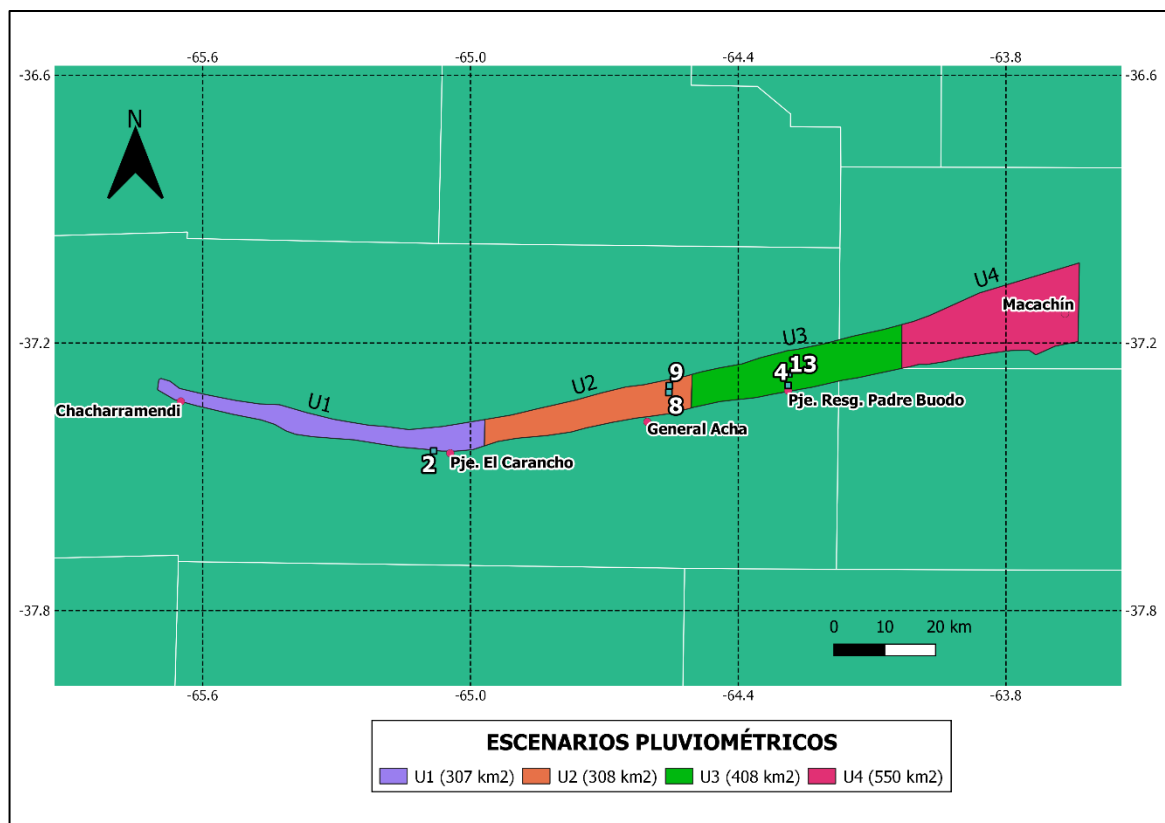


Figura 28. Escenarios pluviométricos en el área de estudio.

Balance hídrico

A partir de la ejecución del *Visual Balan* se obtuvieron valores de recarga media anual para el área de estudio que varían entre 12,95 mm, equivalente al 2,98% de las precipitaciones medias anuales y 71,15 mm, equivalente al 9,4% (Tabla 4). En términos generales, los valores más altos de recarga tienen lugar a finales del verano – comienzo del otoño y en primavera (Figura 29), cuando se registra el 32,9% y 30,6% de la recarga media anual, respectivamente. No obstante, este patrón no se repite en el frentímetro P3 y P13 de Padre Buodo, donde para el caso del P3 el 64% de la recarga anual se concentra en los meses de

noviembre a febrero mientras que el P13 presenta los valores máximos en los meses de mayo a julio y en octubre y noviembre con el 42,8% y 23,7% de la recarga anual respectivamente, observándose un retardo en relación con el resto de los freáticos. Además, a partir de las figuras 30 a 37, que representan la descomposición de la figura 29 para cada punto de control, es posible observar que la dispersión existente entre la relación recarga y la pluviometría indica que no todos los eventos de recarga tienen una magnitud proporcional a la lluvia que los ha generado.

Tabla 4. Estimaciones de recarga media obtenidas y su relación porcentual con las precipitaciones en los distintos puntos de control, expresados en valores medios anuales de lámina (mm) y porcentajes (%) respectivamente.

Puntos de control	Período	Pozo N°	P (mm/año)	R (mm/año)	R/P (%)
Chacharramendi	1996 – 2018	S/C	434,36	12,95	2,98%
El Carancho	2014 – 2019	2	454,12	18,23	4,0%
General Acha	1990 – 2019	8	656,15	36,64	5,6%
	1990 – 2019	9	656,15	31,49	4,8%
Padre Buodo	1990 – 2002	3	715,47	62,7	8,8%
	2017 – 2019	13	455,33	38,67	8,5%
	1990 – 2019	4	623,3	45,3	7,3%
Macachín	1995 – 2019	S/C	752,98	71,15	9,4%

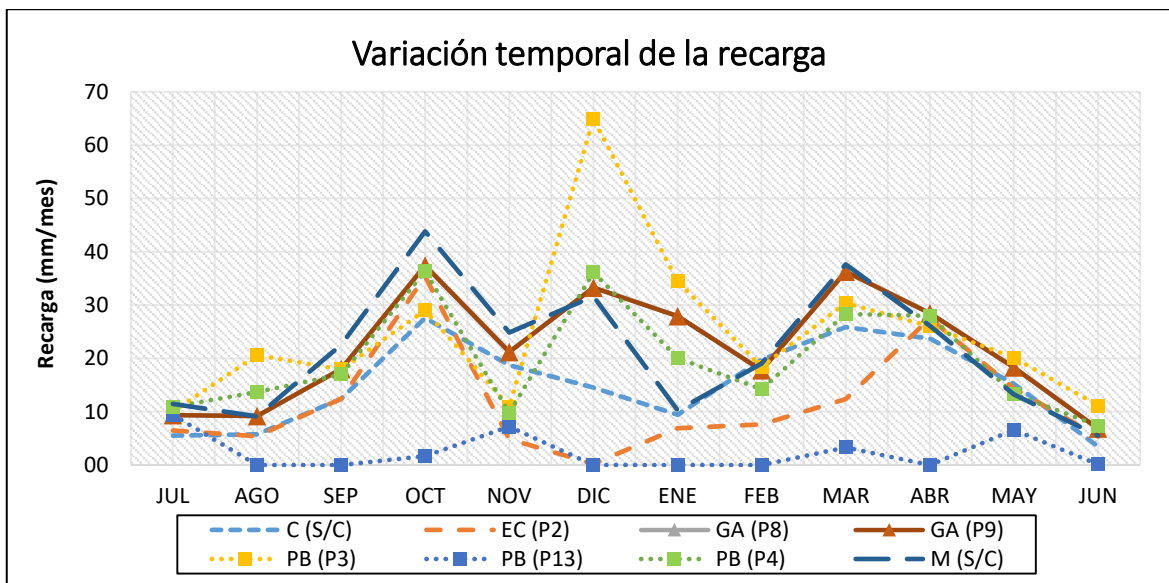


Figura 29. Valores medios mensuales de la recarga, estimada para cada punto de control a través del código *Visual Balan*. Referencias: Chacharramendi (C), El Carancho (EC), General Acha (GA), Padre Buodo (PB) y Macachín (M).

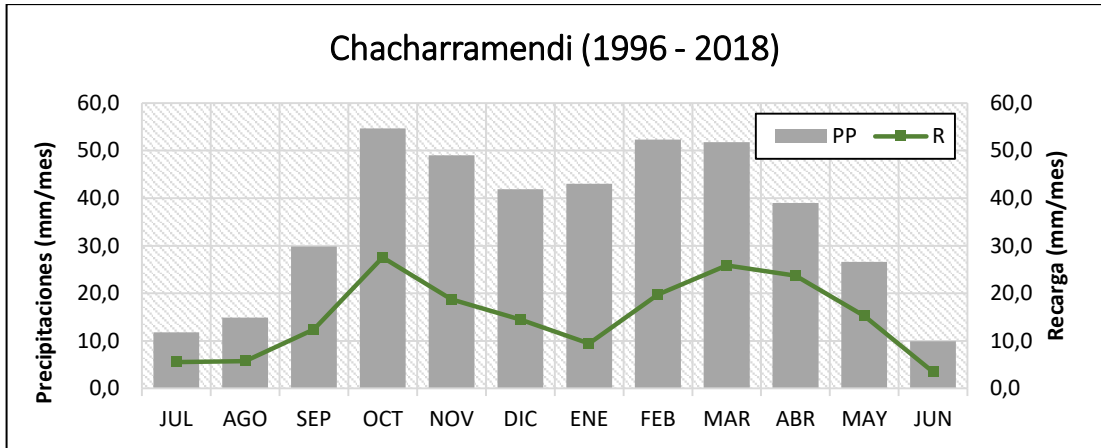


Figura 30. Variación mensual de los promedios de precipitaciones y recarga de Chacharramendi, obtenidas a partir del código *Visual Balan*.

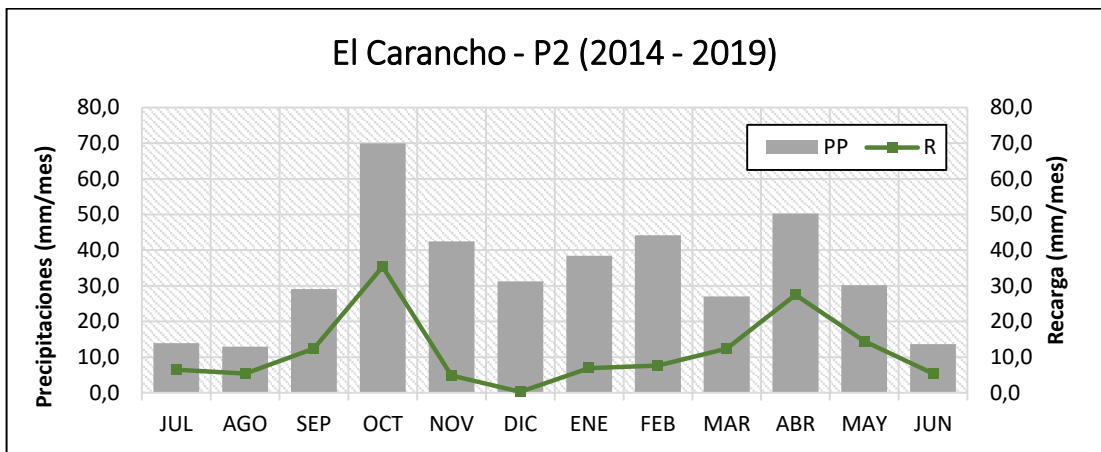


Figura 31. Variación mensual de los promedios de precipitaciones y recarga del P2 de El Carancho obtenidas a partir del código *Visual Balan*.

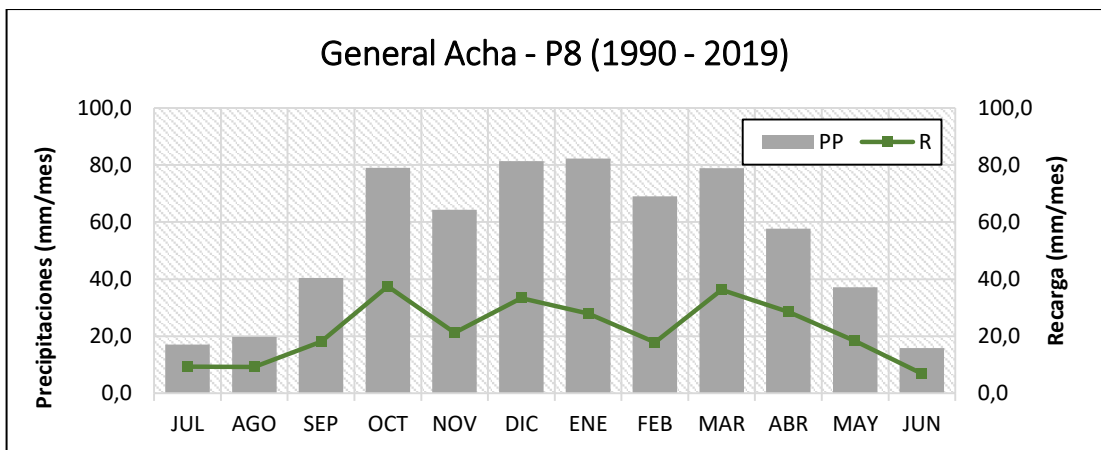


Figura 32. Variación mensual de los promedios de precipitaciones y recarga del P8 de General Acha obtenidas a partir del código *Visual Balan*.

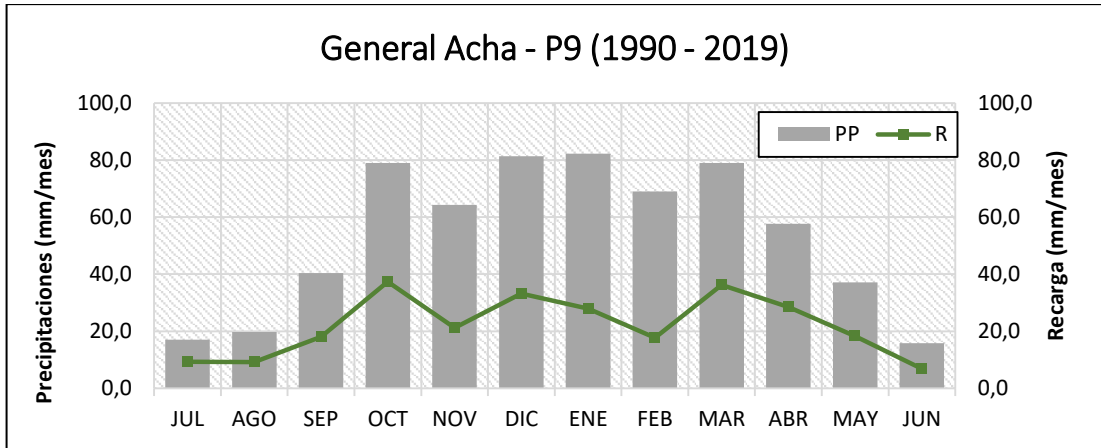


Figura 33. Variación mensual de los promedios de precipitaciones y recarga del P9 de General Acha obtenidas a partir del código *Visual Balan*.

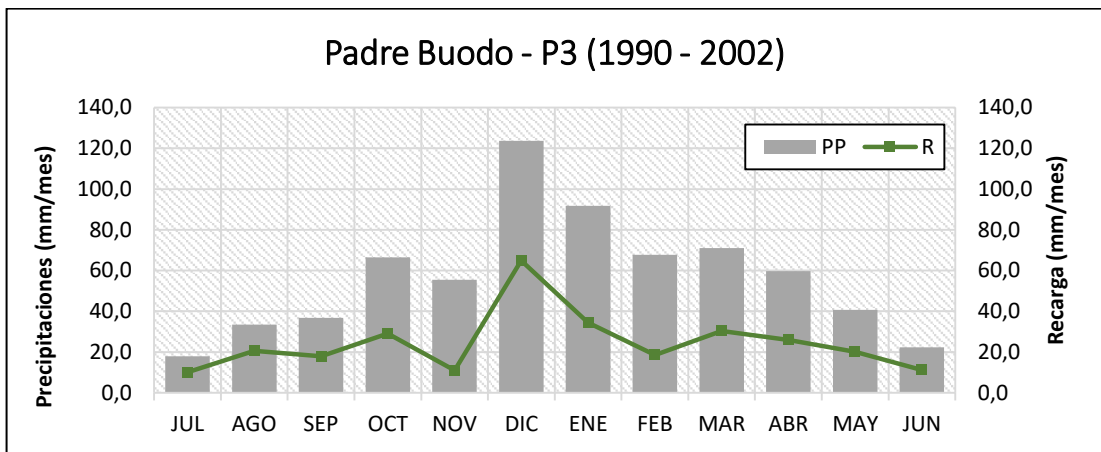


Figura 34. Variación mensual de los promedios de precipitaciones y recarga del P3 de Padre Buodo obtenidas a partir del código *Visual Balan*.

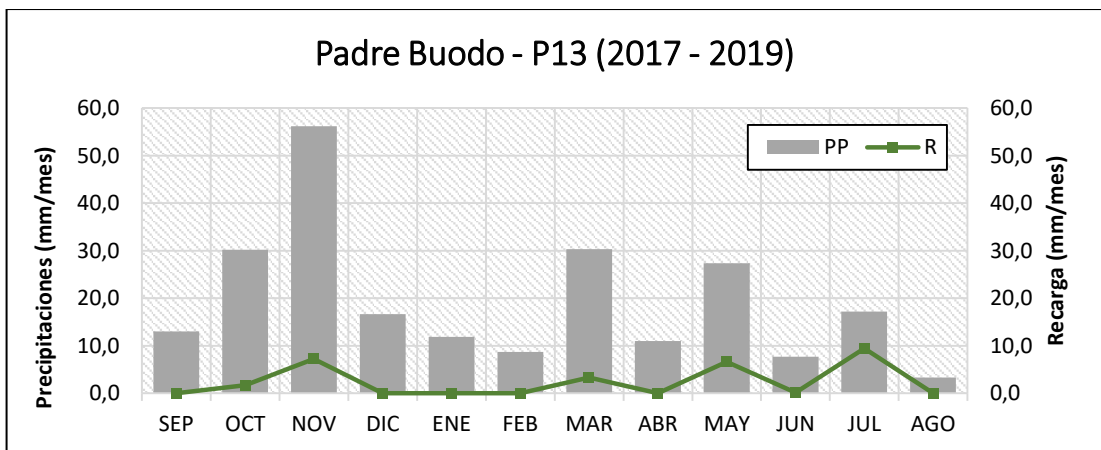


Figura 35. Variación mensual de los promedios de precipitaciones y recarga del P13 de Padre Buodo obtenidas a partir del código *Visual Balan*.

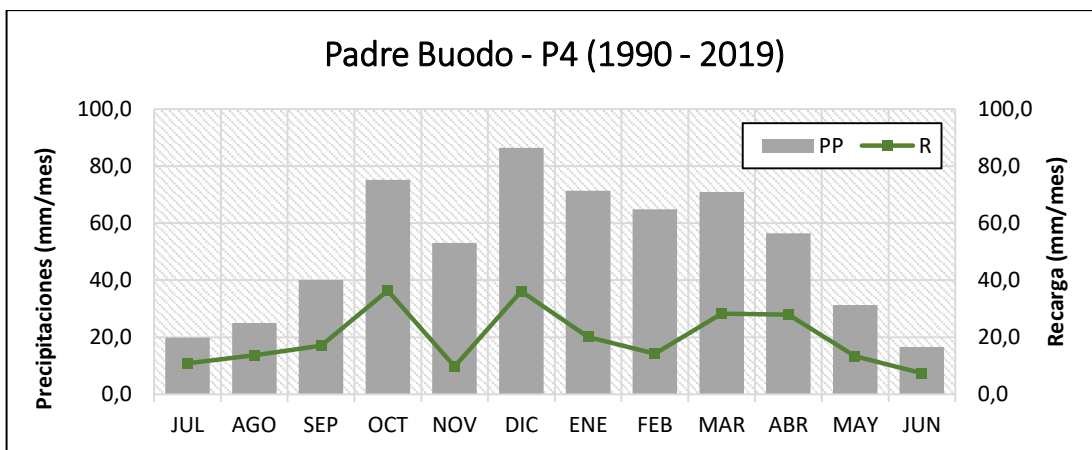


Figura 36. Variación mensual de los promedios de precipitaciones y recarga del P4 de Padre Buodo obtenidas a partir del código *Visual Balan*.

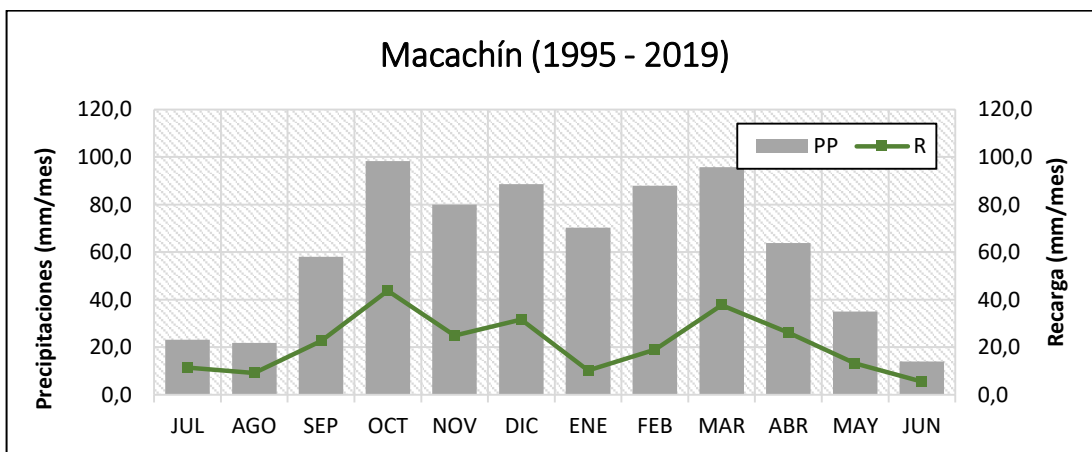


Figura 37. Variación mensual de los promedios de precipitaciones y recarga de Macachín obtenidas a partir del código *Visual Balan*.

Los resultados generales del balance hídrico se encuentran representados a través de las salidas gráficas del *Visual Balan*. De ellas es posible señalar que la recarga promedio anual obtenida para Chacharramendi (Figura 38) fue de 12,95 mm (2,98% de las precipitaciones). Para el P2 (Figura 39) de El Carancho fue de 18,23 mm (4% de las precipitaciones). En General Acha, la recarga fue de 36,45 mm (5,6% de las precipitaciones) para el P8 (Figura 41) y para el P9 (Figura 43) fue de 31,49 mm (4,8% de las precipitaciones). En el caso de Padre Buodo se obtuvieron valores promedios anuales de 62,7 mm (8,8% de las precipitaciones), 38,67 mm (8,5% de las precipitaciones) y 45,3 mm (7,3% de las precipitaciones) correspondientes al P3 (Figura 45), P13 (Figura 47) y P4 (Figura 49), respectivamente. Finalmente, para Macachín la recarga fue de 71,15 mm, equivalente al 9,4% de las precipitaciones (Figura 51). Asimismo, es preciso mencionar que las salidas del

sistema se encuentran dominadas, en primer lugar, por la evapotranspiración real que equivale entre 57,6% y 65,7% del total de las salidas, con un valor promedio de 61% y seguidas por el flujo hipodérmico o subsuperficial que varía entre el 25,7% y el 39,6%, con un valor promedio del 33%, representado en la sección superior derecha de las salidas gráficas a través de diagramas circulares.

Por otro lado, las Figuras 40, 42, 44, 46, 48 y 50 muestran el ajuste entre los niveles freáticos calculados y medidos, con errores cuadráticos medios satisfactorios con respecto al óptimo. Sin embargo, para los casos puntuales del P9 de General Acha y P13 de Padre Buodo existe una discrepancia entre los niveles óptimos con respecto a los calculados. El P9 presenta los niveles calculados atenuados, con picos de mínimos y máximos inferiores en comparación con los óptimos (Figura 44). Lo mismo ocurre con el P13, en donde la recesión real es superior a la calculada a través del *Visual Balan* (Figura 48). Cabe aclarar que el hidrograma del P3/13 registraba un comportamiento disímil entre los períodos 1990 – 2002 (Figura 46) y 2017 – 2019 (Figura 48) que lo hacía difícilmente ajustable, por lo que se optó por dividirlos en los dos subperíodos antes mencionados. Aunque, es evidente que el segundo es demasiado corto, la finalidad de incluirlo en el análisis fue para reflejar una situación particular del comportamiento de los niveles en un período de recesión. A su vez, de las figuras de bondad de ajuste es destacable la respuesta de los niveles a las oscilaciones de las precipitaciones, por ejemplo, la figura 46 correspondiente al P3 de Padre Buodo muestra dos eventos marcados de ascensos de los niveles que coinciden con registros pluviométricos ampliamente superiores con respecto al resto del período analizado. Lo contrario ocurrió cuando las precipitaciones fueron bajas, como fue entre los años 1994 y 1997, donde se generó una profundización de los niveles, aproximadamente de 1 m., producto de las escasas precipitaciones registradas en ese período. Las pruebas de bondad de ajuste anteriormente descritas no incluyeron a Chacharramendi y Macachín, debido a que no cuentan con freatómetros en sus proximidades.

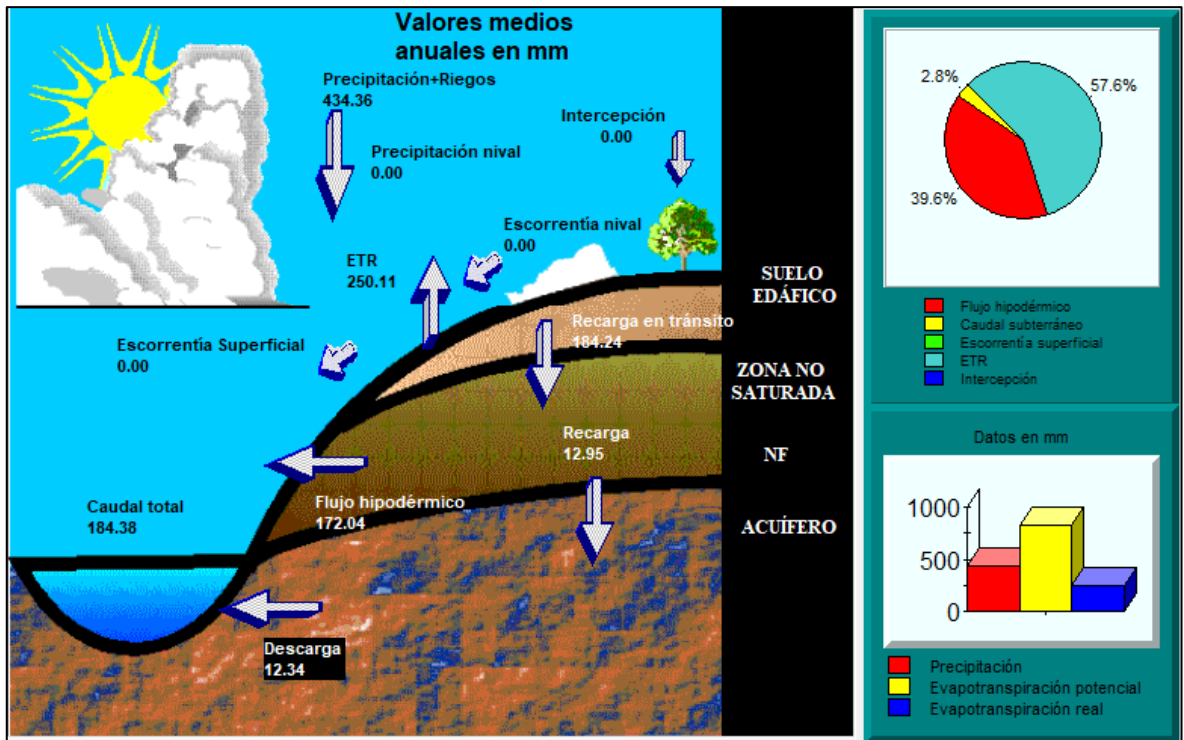


Figura 38. Salida gráfica del *Visual Balan* con los resultados generales del balance hídrico en Chacharramendi (1996 – 2018).

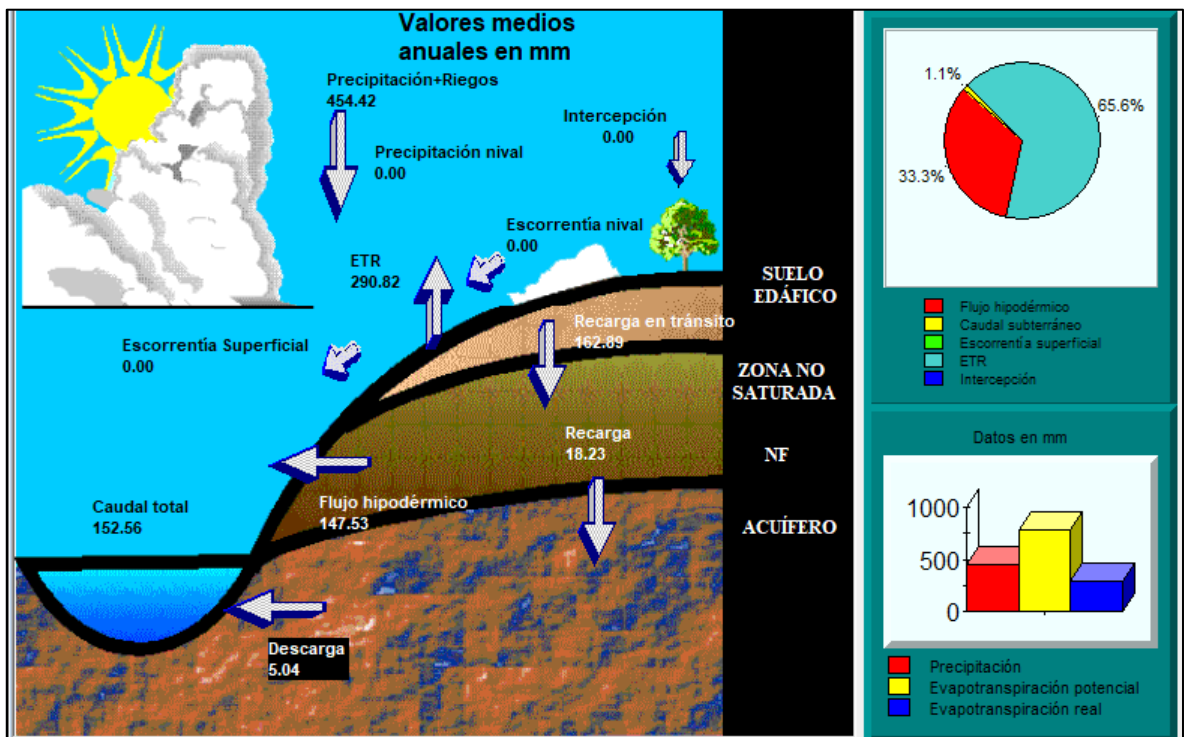


Figura 39. Salida gráfica del *Visual Balan* con los resultados generales del balance hídrico en el freático P2 de El Carancho (2014 – 2018).

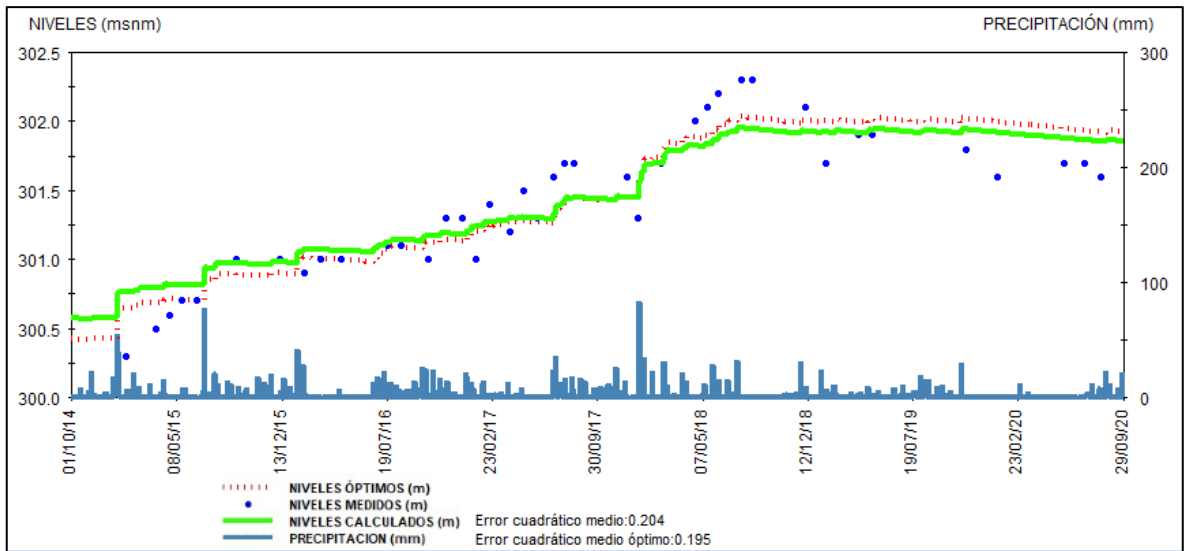


Figura 40. Bondad de ajuste entre los niveles calculados y medidos (msnm) en el freatímetro P2 de El Carancho.

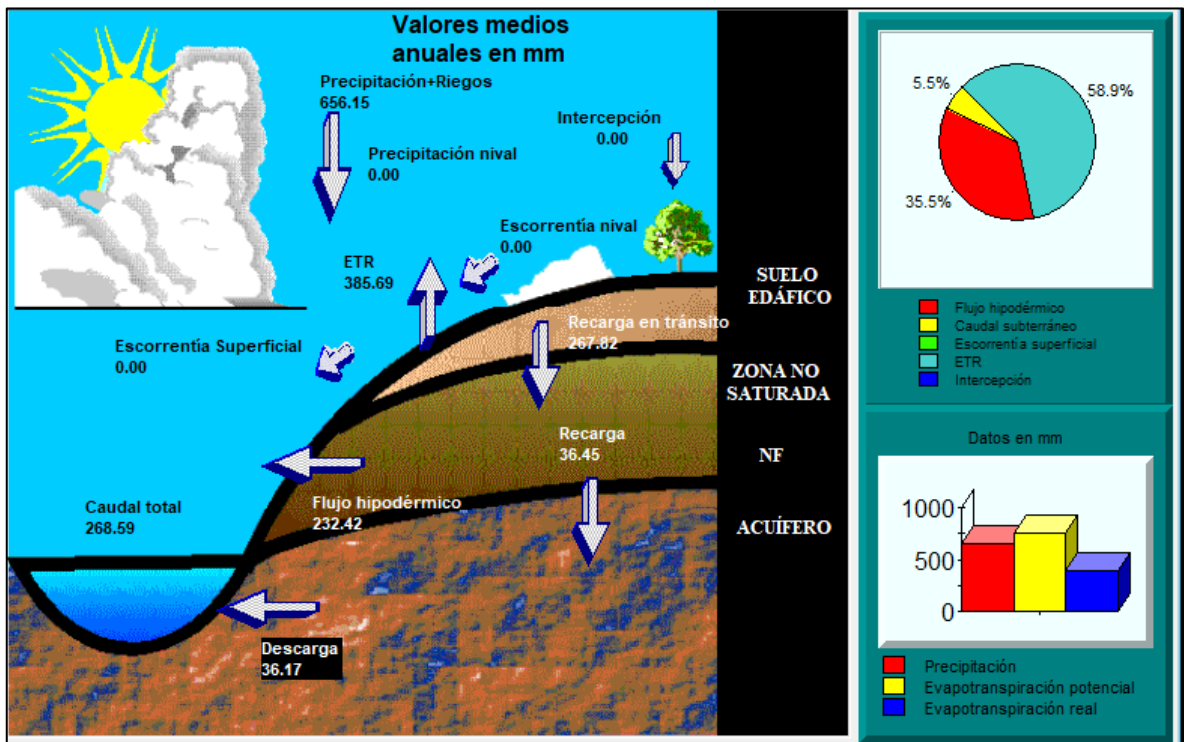


Figura 41. Salida gráfica del *Visual Balan* con los resultados generales del balance hídrico en el freatímetro P8 de General Acha (1990 – 2019).

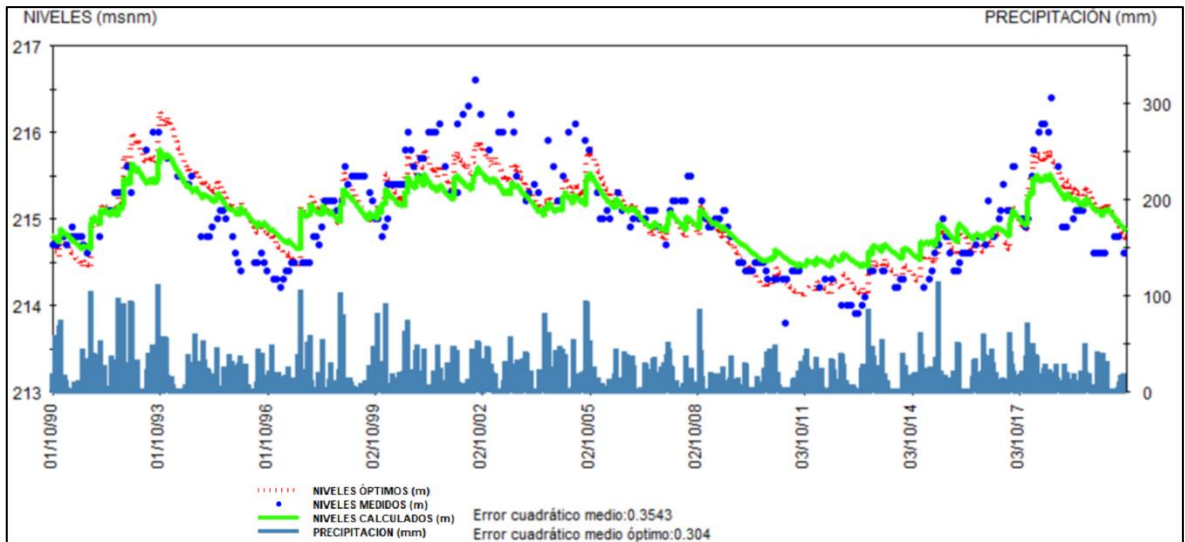


Figura 42. Bondad de ajuste entre los niveles calculados y medidos (msnm) en el frentímetro P8 de General Acha.

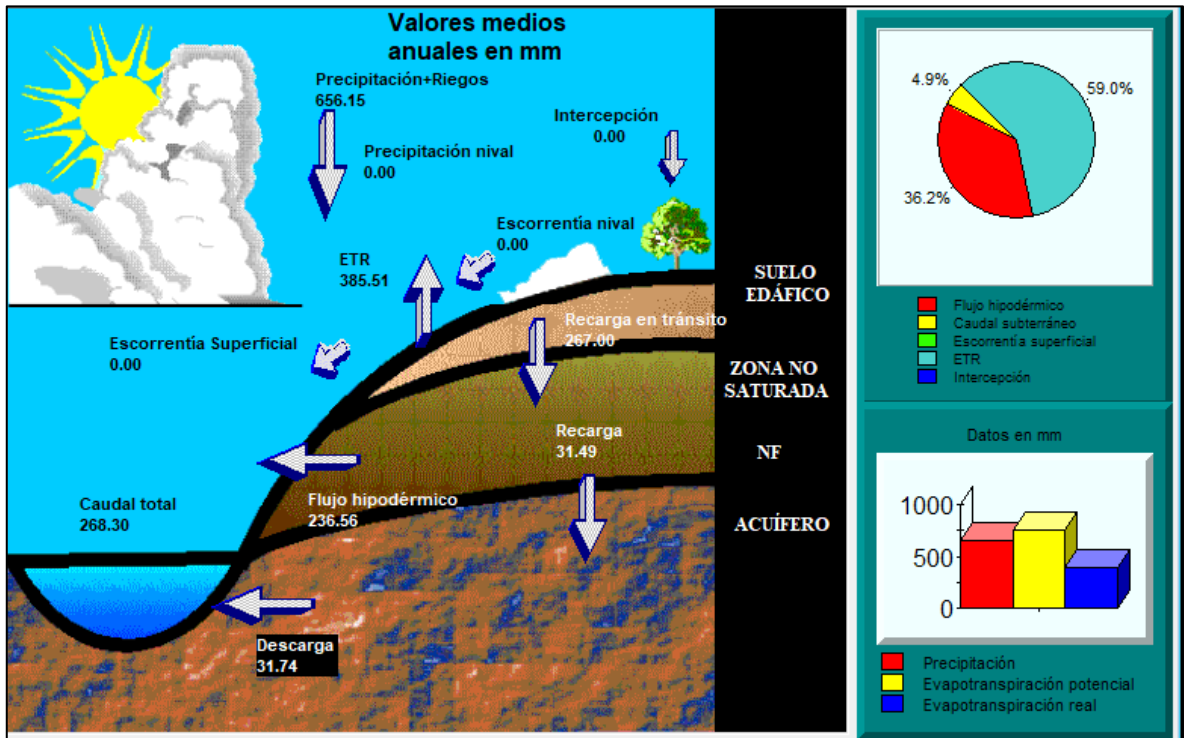


Figura 43. Salida gráfica del Visual Balan con los resultados generales del balance hídrico en el frentímetro P9 de General Acha (1990 – 2019).

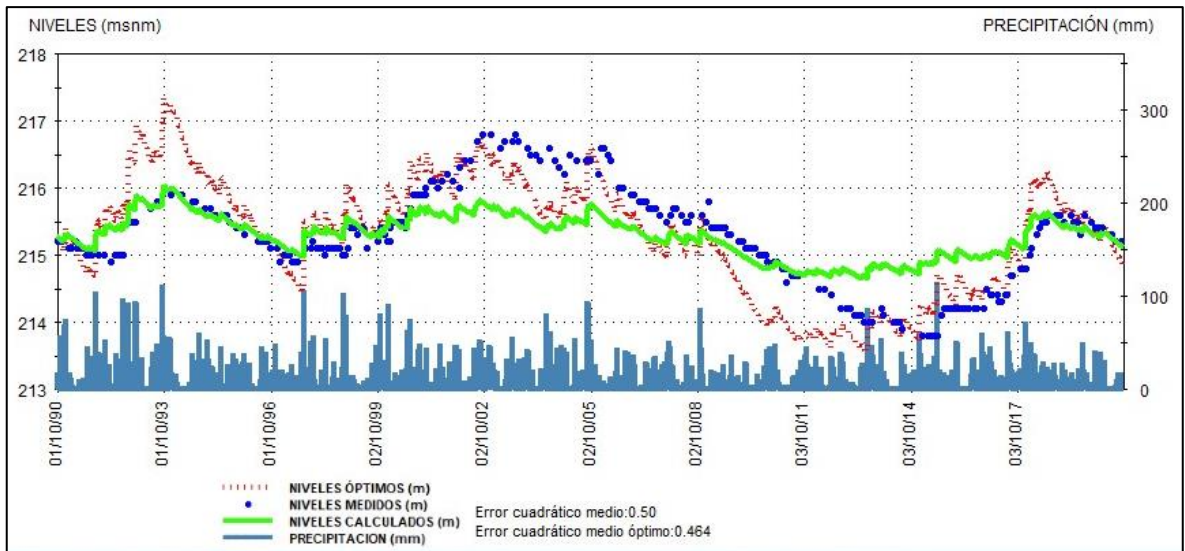


Figura 44. Bondad de ajuste entre los niveles calculados y medidos (msnm) en el frentómetro P9 de General Acha.

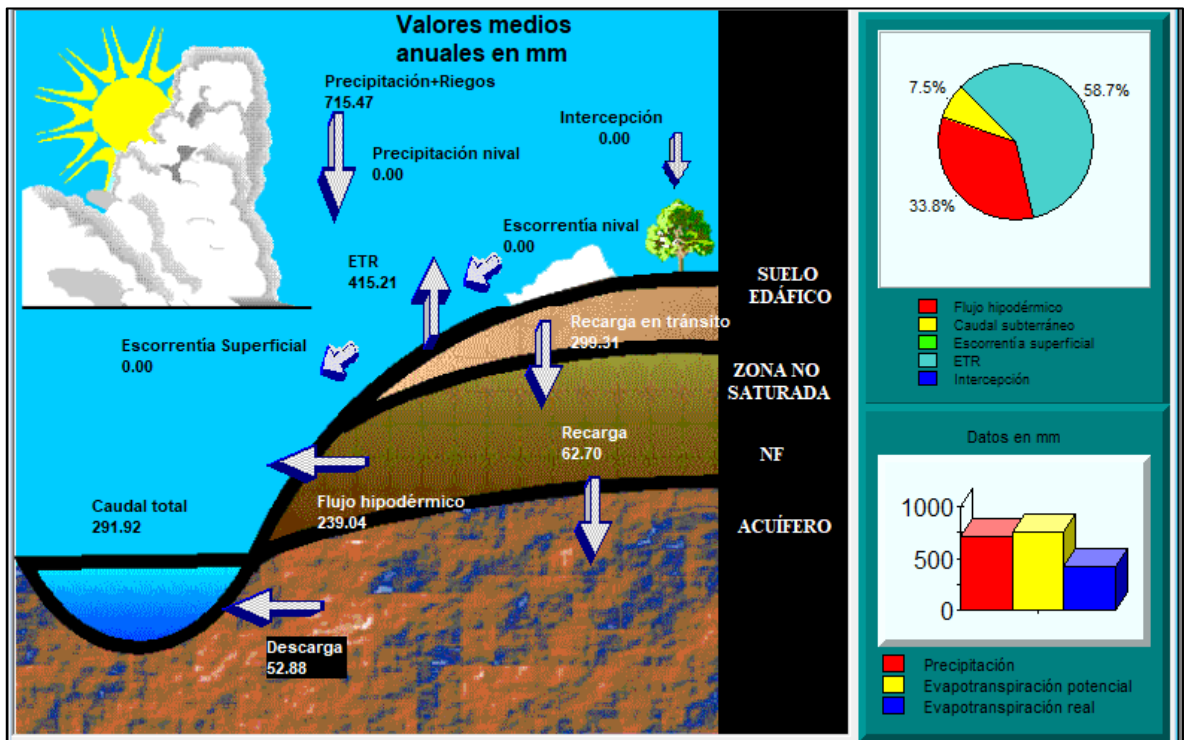


Figura 45. Salida gráfica del *Visual Balan* con los resultados generales del balance hídrico en el frentómetro P3 de Padre Buodo (1990 – 2002).

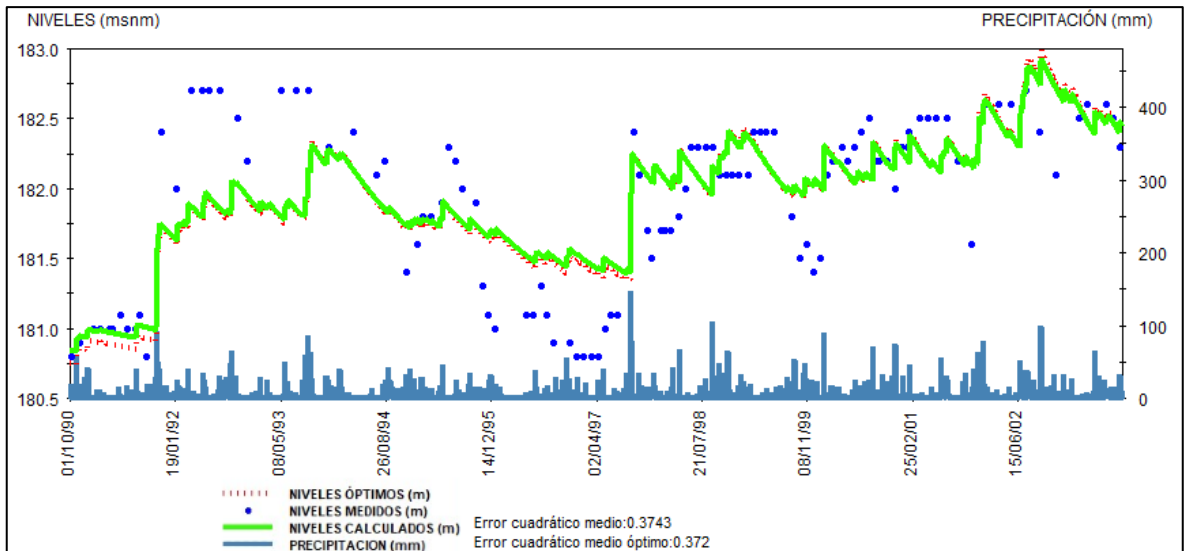


Figura 46. Bondad de ajuste entre los niveles calculados y medidos (msnm) en el frentímetro P3 de Padre Buodo.

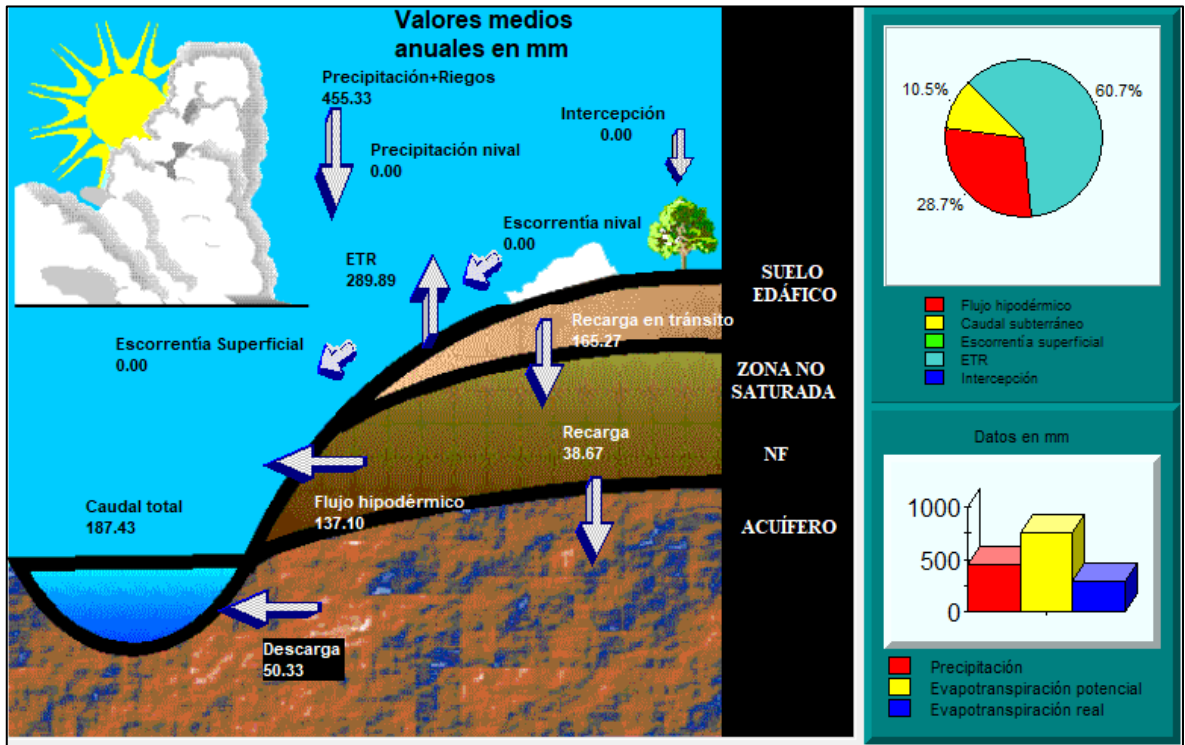


Figura 47. Salida gráfica del *Visual Balan* con los resultados generales del balance hídrico en el frentímetro P13 de Padre Buodo (2017 – 2019).

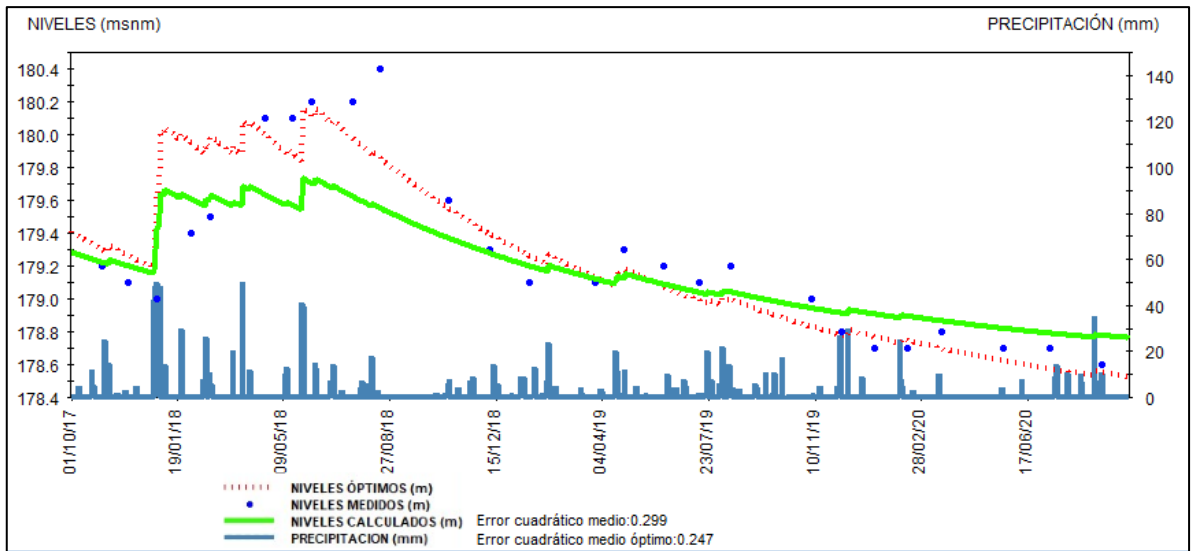


Figura 48. Bondad de ajuste entre los niveles calculados y medidos (msnm) en el frentímetro P13 de Padre Buodo.

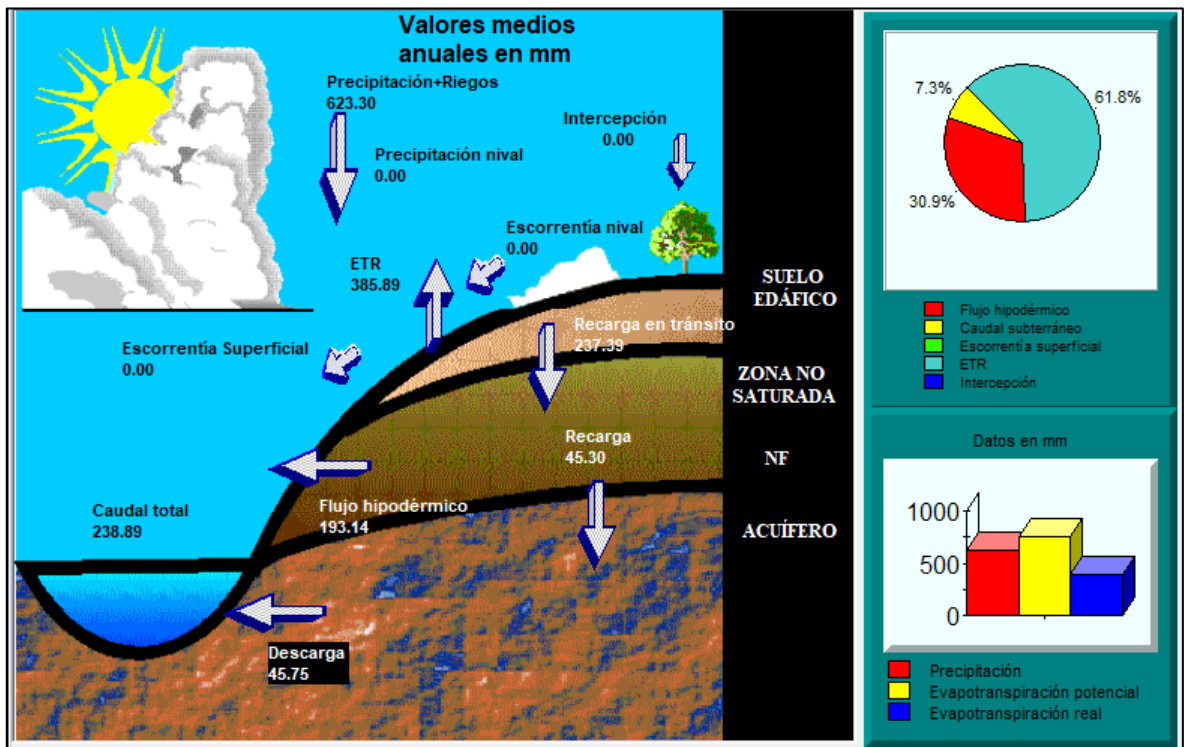


Figura 49. Salida gráfica del Visual Balan con los resultados generales del balance hídrico en el frentímetro P4 de Padre Buodo (1990 – 2019).

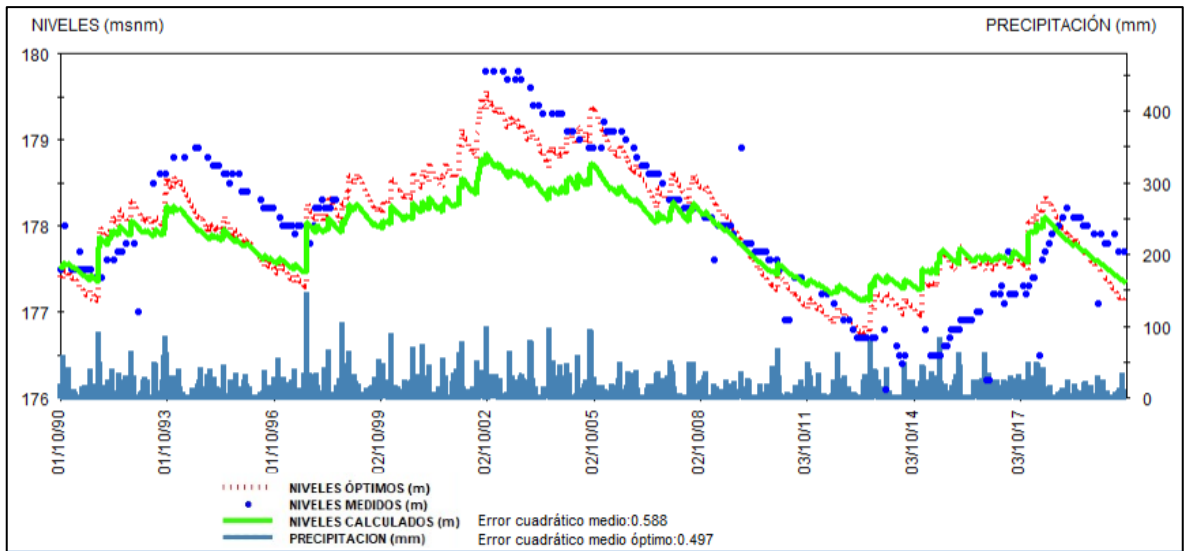


Figura 50. Bondad de ajuste entre los niveles calculados y medidos (msnm) en el frentómetro P4 de Padre Buodo.

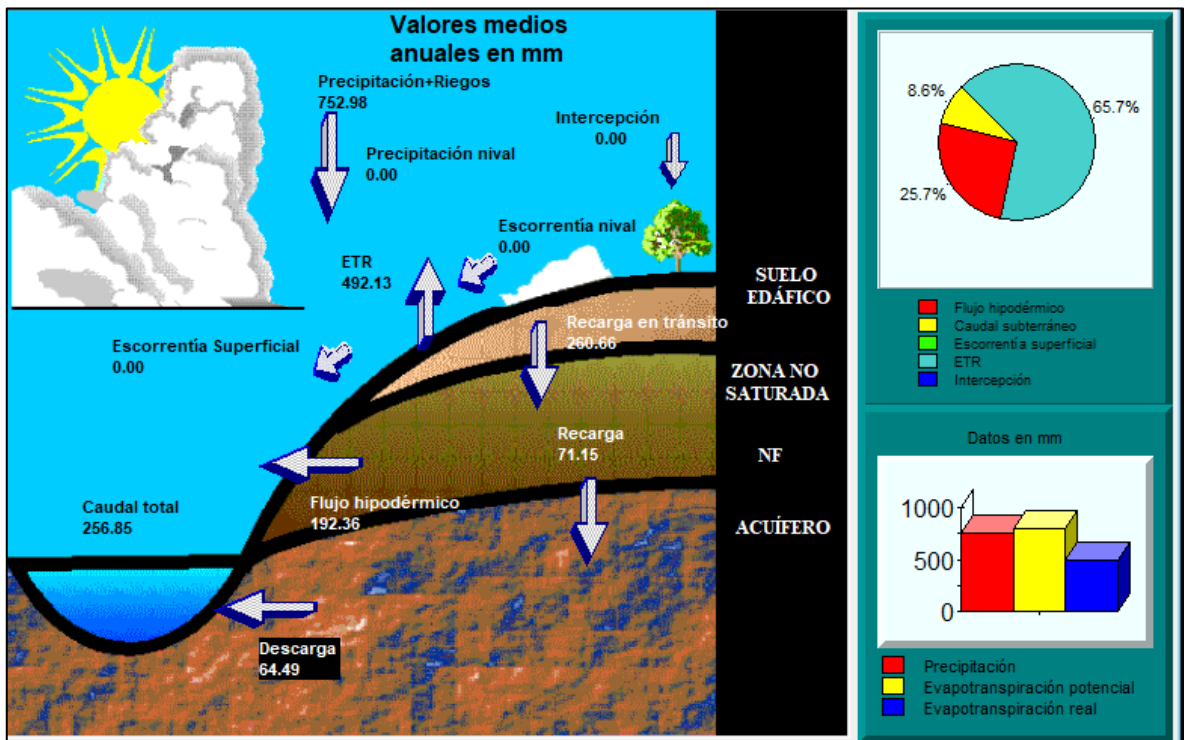


Figura 51. Salida gráfica del Visual Balan con los resultados generales del balance hídrico en Macachín (1995 – 2019).

Análisis de fluctuaciones de los niveles freáticos

A partir de los registros freatimétricos se individualizaron aquellos eventos de niveles descendentes con precipitaciones nulas o escasas (inferiores a 10 mm) para el cálculo de las tasas de recesión (TR) correspondientes a cada freatímetro incluido en el análisis (Tablas 5, 6, 7, 8 y 9). Utilizando los valores medios de TR, a excepción de El Carancho donde, dado a que el promedio resultó muy alto, se optó por el valor -0,09 mm/d que fue el que más se ajustaba a los resultados obtenidos para los demás sitios, se estimó la recarga para cada uno. Para los cálculos se consideró el año hidrológico, de manera aproximada según los registros disponibles, lo cual resulta adecuado para este tipo de metodología.

Tabla 5. Valores de tasa de recesión (mm/d) del freatímetro P2 de El Carancho.

Período					
INICIA	FINALIZA	Δh (mm)	ΔS	t (d)	TR (mm/d)
22/07/2014	19/08/2014	-120	0,06	28	-0,26
30/04/2015	02/06/2015	-50	0,06	33	-0,09
26/10/2017	16/11/2017	-10	0,06	21	-0,03
Tasa de recesión promedio					-0,13

Tabla 6. Valores de tasa de recesión (mm/d) del freatímetro P8 de General Acha.

Período					
INICIA	FINALIZA	Δh (mm)	ΔS	t (d)	TR (mm/d)
18/04/1997	06/05/1997	-30,00	0,09	18,00	-0,15
06/05/1997	03/06/1997	-30,00	0,09	28,00	-0,10
15/05/1998	12/06/1998	-50,00	0,09	28,00	-0,16
10/07/1998	04/08/1998	-50,00	0,09	25,00	-0,18
13/07/1999	10/08/1999	-10,00	0,09	28,00	-0,03
30/06/2000	04/08/2000	-70,00	0,09	35,00	-0,18
18/06/2002	25/07/2002	-20,00	0,09	37,00	-0,05
09/06/2003	31/07/2003	-20,00	0,09	52,00	-0,03
02/06/2015	01/07/2015	-10,00	0,09	29,00	-0,03
01/07/2015	13/08/2015	-30,00	0,09	43,00	-0,06
Tasa de recesión promedio					-0,10

Tabla 7. Valores de tasa de recesión (mm/d) del freaímetro P9 de General Acha.

Período					
INICIA	FINALIZA	Δh (mm)	ΔS	t (d)	TR (mm/d)
26/06/1990	10/07/1990	-30,00	0,07	14,00	-0,15
18/04/1997	06/05/1997	-20,00	0,07	18,00	-0,08
06/05/1997	03/06/1997	-20,00	0,07	28,00	-0,05
15/05/1998	12/06/1998	-30,00	0,07	28,00	-0,08
13/07/1999	10/08/1999	-20,00	0,07	28,00	-0,05
30/06/2000	04/08/2000	-10,00	0,07	35,00	-0,02
05/05/2006	16/06/2006	-10,00	0,07	42,00	-0,02
16/06/2006	18/07/2006	-60,00	0,07	32,00	-0,13
03/05/2007	31/05/2007	-30,00	0,07	28,00	-0,08
05/06/2009	10/07/2009	-30,00	0,07	35,00	-0,06
10/07/2009	07/08/2009	-10,00	0,07	28,00	-0,03
14/05/2010	18/06/2010	-20,00	0,07	35,00	-0,04
18/06/2010	07/07/2010	-150,00	0,07	19,00	-0,55
24/05/2012	22/06/2012	-10,00	0,07	29,00	-0,02
Tasa de recesión promedio					-0,10

Tabla 8. Valores de tasa de recesión (mm/d) del freaímetro P3 de Padre Buodo.

Período					
INICIA	FINALIZA	Δh (mm)	ΔS	t (d)	TR (mm/d)
06/05/1997	03/06/1997	-10,00	0,08	28,00	-0,03
13/07/1999	10/08/1999	-90,00	0,08	28,00	-0,26
30/06/2000	04/08/2000	-40,00	0,08	35,00	-0,09
Tasa de recesión promedio					-0,13

Tabla 9. Valores de tasa de recesión (mm/d) del freaímetro P4 de Padre Buodo.

Período					
INICIA	FINALIZA	Δh (mm)	ΔS	t (d)	TR (mm/d)
06/05/1997	03/06/1997	-30,00	0,10	28,00	-0,11
05/06/2009	10/07/2009	-40,00	0,10	35,00	-0,11
10/07/2009	07/08/2009	-10,00	0,10	28,00	-0,04
04/07/2013	05/08/2013	-80,00	0,10	32,00	-0,25
Tasa de recesión promedio					-0,13

Las Tablas A.1, A.2, A.3, A.4 y A.5 del Anexo indican los cálculos efectuados para estimar los valores de recarga media anual y su relación porcentual con respecto a las precipitaciones. En dichas tablas se reemplazaron los valores negativos (que indican subperíodos con recarga nula) por cero. El valor obtenido para el P2 de El Carancho fue de 23,13 mm (6,7% de las precipitaciones), para General Acha fue de 42,1 mm (7,6% de las precipitaciones) para el P8 y 37,24 mm (6,5% de las precipitaciones) para el P9, mientras que para Padre Buodo los resultados fueron de 46,11 mm (6,8% de las precipitaciones) para el P3 y 58,4 mm (11% de las precipitaciones) para el P4.

Por último, la Tabla 10 y figura 52 sintetizan los resultados obtenidos para cada una de las metodologías empleadas.

Tabla 10. Resultados de la recarga media anual a través de ambas metodologías y su relación con las precipitaciones, expresados como láminas (mm/año) y porcentajes (%), respectivamente. S/C = Sin control.

Puntos de control	Pozo N°	Período	R (mm/año)	P (mm/año)	R/P (%)	Método
Chacharramendi	S/C	1996 – 2018	12,95	434,36	2,98%	Balance
El Carancho	2	2014 – 2019	18,23	454,12	4,0%	Balance
		2013 – 2019	23,1	475	6,7%	Fluctuaciones
General Acha	8	1990 – 2019	36,45	656,15	5,6%	Balance
		1990 – 2019	42,1	663,5	7,6%	Fluctuaciones
	9	1990 – 2019	31,49	656,15	4,8%	Balance
		1990 – 2019	37,24	663,5	6,5%	Fluctuaciones
Padre Buodo	3	1990 – 2002	62,7	715,47	8,8%	Balance
		1990 – 2002	46,1	712,7	6,8%	Fluctuaciones
	13	2017 – 2019	38,67	455,33	8,5%	Balance
	4	1990 – 2019	45,3	623,3	7,3%	Balance
1990 – 2019		58,4	592,1	11%	Fluctuaciones	
Macachín	S/C	1995 – 2019	71,15	752,98	9,4%	Balance

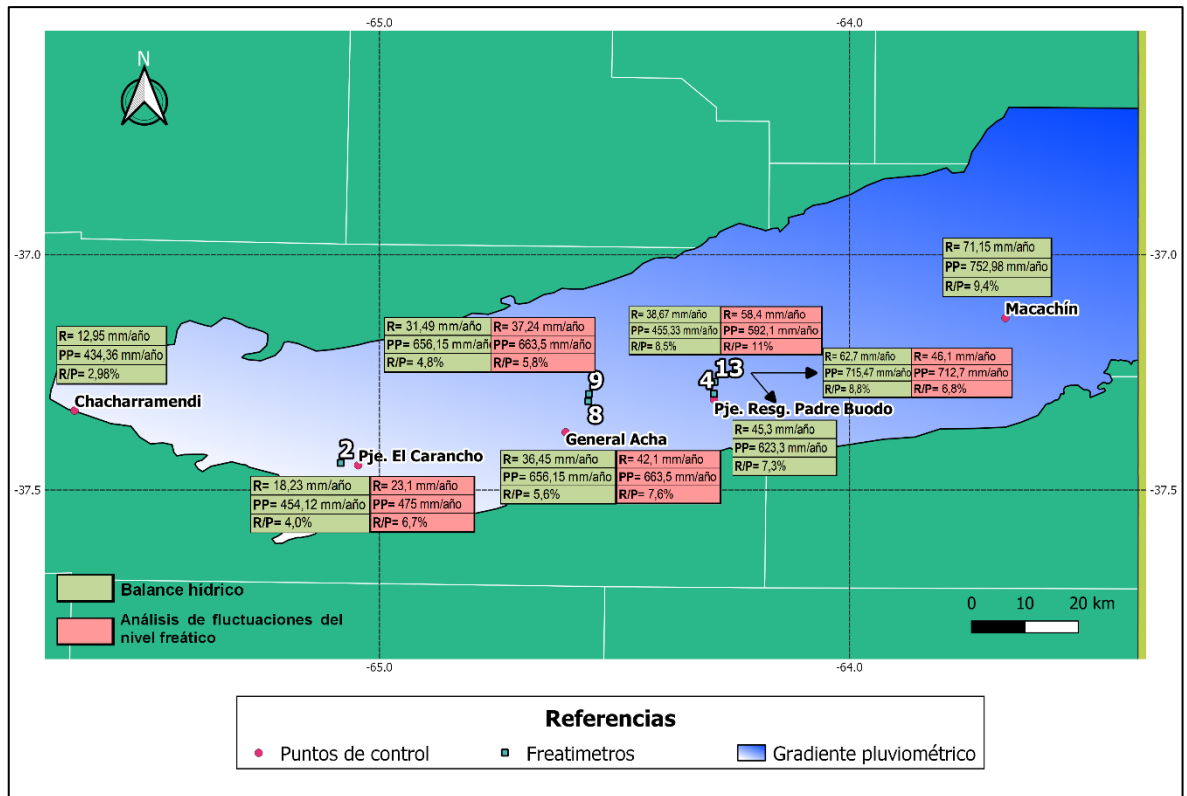


Figura 52. Mapa de recarga media anual (R), precipitaciones (PP) y las relaciones entre ambas (R/P) obtenidos para cada metodología.

DISCUSIÓN

En principio, es necesario aclarar que Chacharramendi y Macachín no fueron considerados para el ajuste del balance hídrico ni para el análisis de fluctuaciones de niveles freáticos ya que no cuentan con freatómetros en sus proximidades, por lo que es imposible realizar los cálculos pertinentes. Del mismo modo, se descartó del segundo método al freatómetro P13 de Padre Buodo, debido a que el período de registros era muy acotado.

A partir de los resultados de recarga media mensual obtenidos a través del *Visual Balan* se pone en evidencia que, en términos generales, los valores más altos coinciden con períodos de precipitaciones abundantes que superan las tasas de evapotranspiración, favoreciendo la disponibilidad de agua en el suelo y con esto el flujo vertical descendente que contribuye a conformar las reservas subterráneas. En invierno y verano la conjunción de estas variables no ocurre, por lo que la recarga es de menor magnitud. Por un lado, el invierno está condicionado por las bajas precipitaciones, mientras que el verano lo está por las altas tasas de evapotranspiración. A diferencia del resto de los freatómetros, una situación particular ocurrió en el P3/13 con respecto a la estacionalidad de la recarga. Para el P3 la recarga fue mayor y se concentró entre los meses de noviembre y febrero que coincidió con elevadas precipitaciones, mientras que para el P13 la recarga fue inferior y presentó un desfase, con valores máximos entre los meses de mayo, julio, octubre y noviembre.

En el marco de las observaciones anteriores también se deduce, al comparar el P3 con el P13, una situación contrastante entre las magnitudes de recargas de ambos pozos. La evidencia empírica indica que la diferencia entre los valores radica en el régimen pluviométrico característico de cada período. Por un lado, gran parte del período de registro en P3 (1990 – 2002) se encuentra clasificado como húmedo, mientras que desde el 2004 al 2019 la desviación típica posee una tendencia negativa, es decir que se puede referir a ese período, que corresponde a las mediciones en P13, como seco. La relación entre las precipitaciones y el nivel saturado en el área de estudio ha sido documentada en el trabajo de Secco *et al.* (2012), donde demostró que existe una respuesta hidrológica de los niveles que obedecen a la dinámica de las precipitaciones, ya sea de manera rápida o con un breve retardo causado por la poca profundidad a la que se encuentra el acuífero y el manto arenoso en el que se aloja.

En general, al contrastar los resultados de cada metodología en los distintos puntos de control es posible advertir una similitud en los valores de recarga obtenidos con diferencias anuales que rondan los 5 mm. Sin embargo, en los freatómetros P3 y P4 de Padre Buodo la disparidad entre los métodos es notable, siendo el balance 16 mm/año superior en P3 y 13 mm/año inferior en P4 con respecto al análisis de fluctuaciones del nivel freático.

Al mismo tiempo, los distintos escenarios pluviométricos permitieron verificar la variabilidad espacial de la recarga. Al depender este proceso de gran cantidad de variables, es difícil relacionar los valores obtenidos a un área extensa y con observaciones puntuales o series de tiempos reducidos como los utilizados en el P2 de El Carancho o el P13 de Padre Buodo.

Los antecedentes en la temática de la presente investigación han sido logrados mediante estudios e investigaciones desarrollados desde la década de 1980 hasta la actualidad, siendo uno de los primeros Cavalié (1985) quien asumió una recarga media anual de 50 mm/año. Posteriormente, la Universidad Ben Gurion (1998) elaboró un informe sobre las posibilidades de riego y otros usos en el sector comprendido entre Padre Buodo y Chacharramendi, donde estimó que la recarga anual oscila entre 22 y 64 mm/año. Otro aporte relevante fue realizado por Schulz (2004), quien estimó la recarga por diferentes métodos y obtuvo un rango amplio de resultados (entre 0 y 57 mm). Recientemente, Mariño *et al.* (2018) obtuvieron valores promedio de recarga que oscilan entre 35 y 53 mm para el sector comprendido entre General Acha y Resguardo Padre Buodo.

Si bien la similitud de los resultados obtenidos en esta tesina con respecto a los estudios previos demuestra la validez de las metodologías aplicadas, es inherente puntualizar ciertas consideraciones. Pese a que el balance hídrico sigue siendo el método más difundido y empleado como estimador, hay que tener en cuenta que realizarlo de manera mensual o anual en regiones semiáridas como la del presente estudio resultaría inadecuado, ya que la evapotranspiración superará en media a las precipitaciones y por lo tanto, no generarían excedentes capaces de favorecer la recarga (Carrica, 2009). Es por esto que autores como Lerner *et al.* (1990), Simmers (1997) y Scanlon *et al.* (2002) entre otros, coinciden que el balance diario es lo más adecuado, debido a que cuando las precipitaciones diarias superan a la tasa de evapotranspiración, dan lugar a excedentes factibles de producir ascensos en el nivel freático. Además, estas regiones se caracterizan por eventos de precipitaciones

estacionales de corta duración pero de alta intensidad, favoreciendo la situación antes mencionada.

Con respecto al código *Visual Balan*, es importante señalar que existe un grado de incertidumbre proveniente en primer lugar de los datos de entrada al modelo, principalmente de los parámetros del suelo edáfico, zona no saturada y saturada. La caracterización edáfica fue realizada a partir de la recolección de información proveniente de 4 perfiles y fue extrapolada al total de superficie de cada subárea. Esto puede conllevar a un error en la aproximación de los parámetros edáficos como son el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo. Lo mismo ocurre con la conductividad hidráulica del suelo, que si bien fue obtenida en laboratorio mediante un permeámetro de carga variable (Schulz, 2004), el valor es poco representativo ya que se trata de una sola muestra. A su vez, los coeficientes de flujo hipodérmico, de agotamiento y de almacenamiento del acuífero han sido sujetos al proceso de ajuste del modelo debido a que no se contaba con valores previos de referencia, a excepción de la porosidad eficaz, sin embargo no era extrapolable a toda el área. En cuanto a los niveles freáticos, es importante remarcar que la falta de mediciones en algunos intervalos puede afectar a la bondad de ajuste, lo cual aumenta el error en los cálculos e incide en los resultados al subestimar o sobreestimar los mismos.

Por el otro lado, el análisis de fluctuaciones presenta, en primer lugar, la dificultad de obtener un valor de coeficiente de almacenamiento adecuadamente representativo. En esta tesina se utilizaron los obtenidos mediante la calibración del método anterior, con lo cual surge el problema de arrastrar posibles errores provenientes del otro método. Si bien es posible obtener valores de coeficientes a través de los ascensos de niveles atribuibles a las precipitaciones que lo generaron, no es aplicable en el presente estudio debido a que no se cuenta con largos períodos de monitoreo diario de los niveles para individualizar cada evento ocurrido. Otro problema adicional es la representatividad de los resultados, principalmente en el paraje El Carancho donde se cuenta con una serie de datos escasa. Para estos casos, Olin (1995) propone que la falta de largos períodos podría ser compensada con un mayor número de registros, sin embargo no hay pruebas para garantizar que esto sea suficiente.

Teniendo en consideración todo lo anteriormente mencionado, es imperativo para la correcta cuantificación de la recarga la aplicación de múltiples métodos como el presente estudio.

CONCLUSIÓN

Para alcanzar los objetivos planteados de estimación de la recarga, fue necesario contemplar los parámetros y variables que intervienen en el proceso, así como su rango de variación y las metodologías aplicadas para obtener cada uno de los componentes que operan en las ecuaciones empleadas.

A partir de la red de monitoreo de los pozos se calculó la recarga del acuífero libre del Valle Argentino, compuesto por un cordón medanoso central que funciona como área de recarga y conectado hidráulicamente con depresiones ubicadas en ambos flancos del cordón que funcionan como sectores de descarga. El balance hídrico (*Visual Balan*) y el análisis de fluctuaciones de los niveles freáticos arrojaron valores promedios de 12,95 mm/año para Chacharramendi, 20,7 mm/año para el paraje El Carancho, 36,8 mm/año para General Acha, 48,3 mm/año para el paraje Resguardo Padre Buodo y 71,2 mm/año para Macachín, los cuales se encuentran dentro de los rangos señalados en trabajos previos.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la dependencia de la recarga a las condiciones climáticas que caracterizan la disponibilidad de agua de cada zona sumado a los factores edáficos e hidrogeológicos que controlan la dinámica hídrica. Respondiendo al objetivo general planteado, se verificó la existencia de una tendencia incremental de la recarga en dirección O – E con valores mínimos en Chacharramendi y máximos en Macachín. Desde el punto de vista temporal, la recarga mensual mostró una distribución predominantemente bimodal, con valores máximos a finales del verano – comienzo del otoño y primavera.

En síntesis, el desarrollo de la presente investigación permitió avanzar en el conocimiento del funcionamiento hidrodinámico del sistema – acuífero Valle Argentino con la finalidad de establecer un modelo hidrogeológico conceptual coherente con la información existente y con la generada a partir de esta Tesina. Los métodos utilizados permitieron la cuantificación de un recurso estratégico para el área. Por consiguiente, se espera que la información proporcionada sea considerada como una herramienta para la adecuada planificación hídrica, que es vital para la sostenibilidad ambiental y el desarrollo socioeconómico de la región. Sin embargo, una profundización en los conocimientos de los parámetros que afectan a la recarga, las interacciones existentes entre ellos y el comportamiento del acuífero son necesarios, principalmente en la zona de Chacharramendi,

el paraje El Carancho y Macachín en donde la disponibilidad de información de niveles freáticos es limitada.

Por eso, como recomendación final para futuras investigaciones se sugiere contar con la realización de un análisis de sensibilidad, que permita determinar la susceptibilidad de la recarga frente a los parámetros y variables que intervienen en los cálculos con el fin de comprender las incertidumbres y limitaciones de los métodos empleados.

BIBLIOGRAFÍA

- Abiye, T. 2016. Synthesis on groundwater recharge in Southern Africa: A supporting tool for groundwater users. *Groundwater for sustainable Development*, 2, 182 – 189.
- Álvarez, M. P., Hernández, M. A., Trovatto, M. M y González, N. 2013. Estimación de la recarga en zonas áridas según distintos métodos. Área medanosa del Sur de Península Valdés. En: González, N., Kruse, E. E., Trovatto, M. M y Laucerencena, P (eds). *Agua subterránea recurso estratégico Tomo I* (pp. 1 – 345). La Plata, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (Edulp).
- Calmels, A. P. 1996. Bosquejo geomorfológico de la provincia de La Pampa. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, La Pampa. 110 pp.
- Cano, E. G., Casagrande, H. A., Conti, B., Fernández, R., Hevia, J. C., Lea Plaza, D., Maldonado Pinedo, H., Martínez, M. A., Montes y 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, Santa Rosa, 493 pp.
- Carrica, J. C. 2009. Cálculo de la recarga en zonas áridas y semiáridas. Recarga de acuíferos. Aspectos generales y particulares en regiones áridas. VI Congreso Argentino de Hidrología, 71 – 80. Santa Rosa, La Pampa.
- Cavalié, C. 1985. Estudio hidrogeológico hoja General Acha. En *Revista Pampa Geológica*. Publicación especial, 64 – 80.
- Consultora UNLPam. 2017. Caracterización hidrogeológica de la zona central de los departamentos de Utracán y Atrucó. Informe final. 176 pp.
- Custodio Gimena, E. 1998. Recarga a los acuíferos: Aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre. *Boletín Geológico y Minero*, 109 (4), págs. 329 – 346.
- De Vries, J. J. y Simmers, I. 2002. Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal*, 10, 5 – 17.
- Dillchneider, A., Frasier, I., Funaro, D., Fernández, R. y Quiroga, A. 2019. Estrategias de fertilización nitrogenada para incrementar el rendimiento y proteína de trigo en la región

semiárida pampeana. SEMIÁRIDA Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam, Vol. 29 (1): 53 – 62.

Fuentes, J. y Cruz, J. 1990. Curso elemental de riego. En: Manuales de capacitación. Ed: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.

Galea, J. M. 2017. Caracterización Hidrogeológica del Valle Argentino, Sector General Acha – El Carancho. (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. 63 pp.

Giai, S. y Tullio J. O. 1998. Características de los principales acuíferos de la Provincia de La Pampa. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Medio Ambiente, Buenos Aires. 51 – 68.

Healy, R. W y Cook, P. G. 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10, 91 – 109.

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2010. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). Ministerio de Defensa de la República Argentina. <https://www.ign.gob.ar/>, visitado el 5 de Febrero de 2021.

Lerner, D. N., Issar, A.S. y Simmers, I., 1990. Groundwater Recharge: a guide to understanding and estimating Natural Recharge. International contributions to hydrogeology, 8, 345 pp.

Linares, E., E.J. Llambías y Latorre, C.O. 1980. Geología de la provincia de La Pampa, República Argentina, y geocronología de sus rocas metamórficas y eruptivas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 35:87-146.

Llambías, E. 1975. Geología de la provincia de La Pampa y su aspecto minero. Informe inédito. Dirección de Minas de la provincia de La Pampa, Santa Rosa. 74 p.

Lorenzo, F. R. 2012. Estratigrafía y sedimentología de los depósitos pelíticos de la Formación Cerro Azul (mioceno tardío) aflorantes en los valles transversales de La Pampa. (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. 62 pp.

- Mariño, E. E. y Bonorino, A. G. 1996. Estimación de la infiltración eficaz en un acuífero en ambiente medanoso a partir de mediciones periódicas del nivel freático”. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Acta No. IV: 405-408, Buenos Aires.
- Mariño, E. E., Schulz, C. J., Loyola, N. y Castro, E. C. 2018. Actualización de las estimaciones de la recarga en el sector central del Valle Argentino, provincia de La Pampa. En: García, R., E. Castro, M. Auge, C. Falcón y M. Blarasín (eds): El Agua Subterránea. Recurso sin Fronteras. Hidrogeología Regional, Vol. I: 63-70, Editorial de la Universidad Nacional de Salta (ISBN 978-987-633-538-6)
- Mariño, E. y Schulz, C. 2008. Importancia de los acuíferos en ambiente medanoso en la región semiárida pampeana. Revista Huellas, (12), 113 – 127.
- Martínez, J. 2006. Agua y sostenibilidad: algunas claves desde los sistemas áridos. Revista Polis, 14, págs. 1 – 14.
- Melchor, R. N. y Llambías, E. J. 2004. Descripción de la hoja Geológica 3766-I “Santa Isabel”, provincia de La Pampa (1:250.000). Servicio Geológico Minero Argentino, 49 pp.
- Moeck, C., Grech-Cumbo, N., Podgorski, J., Bretzler, A., Gurdak, J. J., Berg, M. y Schirmer, M. 2020. A global-scale dataset of direct natural groundwater recharge rates: A review of variables, processes and relationships. Science of the Total Environment, 717, 1 – 19.
- Murillo, J. M. 2004. Recarga de acuíferos, evaluación y análisis de condicionantes técnicos y económicos. Acuífero aluvial del bajo Guadalquivir. (Tesis doctoral). Departamento de ingeniería geológica, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Olin, M. 1995. Estimation of base level for an aquifer from recession rates of groundwater levels. Hydrogeology Journal, 3, (2), 40 – 51.
- Sahuquillo, A. 2008. La importancia de las aguas subterráneas. Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1 (103), págs. 97 – 114.
- Sahuquillo, A., Custodio, E. y Llamas, M. 2009. La gestión de las aguas subterráneas (primera parte). Tecnología del agua, 29 (305), págs. 60 – 67.

- Salazar Lea Plaza, J. C. 1975. Geomorfología de la Provincia de La Pampa como base para los estudios de Suelo y Vegetación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. La Pampa.
- Salso, H. J. 1966. La cuenca de Macachín, provincia de La Pampa. Nota preliminar. Revista de Asoc. Geol. Arg., XXI (2): 107-117.
- Samper Calvete, F. J. 1998. Evaluación de la recarga por la lluvia mediante balances de agua: utilización, calibración e incertidumbres. Boletín Geológico y Minero, 109 (4): 347-370.
- Samper, J., Huguet, L., Ares, J. y García-Vera, M. A. 2005. Manual del usuario del programa VISUAL BALAN V. 2.0. ENRESA, Madrid, 139 pp.
- Scanlon, B. R., Healy, R.W. y Cook P.G. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal, 10, 18 – 39.
- Schulz, C. J. 2004. Estudio hidrogeológico del área central del valle argentino, La Pampa, Argentina. Elaboración de una propuesta de gestión de los recursos hídricos. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba (inédito), 141 pp.
- Secco, N., Buss, G. y Dornes, P. 2012. Análisis de la respuesta hidrológica en distintos ambientes pampeanos a la dinámica espacio temporal de la precipitación. Primer encuentro de investigadores en formación en recurso hídricos I.N.A. Ezeiza, Buenos Aires, Argentina. 16 p.
- Simmers, I. 1997. Recharge of phreatic aquifers in semiarid areas. IAH International Contributions to Hydrogeology 19, AA Balkema, Rotterdam, 277 pp.
- Singh, A., Panda, S. N., Uzokwe, V. N .E. y Krause, P. 2019. An assessment of groundwater recharge estimation techniques for sustainable resource management. Groundwater for Sustainable Development, 9, 1 – 6.
- Sophocleous, M. 2002. Interaction between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrogeology Journal, 10, (1), 52 – 67.
- Tapia, R. 1999. Análisis de la gestión del agua en zonas áridas y semiáridas: Una propuesta de actuación. Revista CIDOB D'Afers Internacionals, 11 – 33.

- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38 (1): 55 – 94.
- Tullio, J. O. 1981. El cuaternario en la Provincia de La Pampa y características de los acuíferos de la región. Administración Provincial del Agua, Santa Rosa, La Pampa (inédito).
- Tullio, J. O. 2006. El agua subterránea y el caldenal. Administración Provincial del Agua (M. O. S. P.). Inédito Dirección de Aguas de la provincia de La Pampa. Santa Rosa. 14 pp.
- United Nations Environment Programme. World atlas of desertification (UNEP). 1992. Barrow, C.J. Edited by N. Middleton and D.S.G. Thomas. Edward Arnold, London, Land Degradation and Development, 3, (4), 249 pp.
- Universidad Ben Gurion del Negev. 1998. Valle Argentino. Planificación Regional Integral. Informe Final. Parte I. 151 pp.

ANEXO

Tabla 1. Estimación de la recarga (mm/año) a través del análisis de fluctuaciones de niveles freáticos del freatómetro P2 de El Carancho (2013 – 2019).

PERIODO								
Inicio	Final	S	TR (mm/d)	Δt (d)	Δh (mm)	Recarga (mm/año)	Precip. (mm/año)	R/P (%)
05/08/2013	27/07/2014	0,06	-0,09	356	60,00	35,96	541,3	0,07
27/07/2014	15/07/2015	0,06	-0,09	353	-430,00	6,29	489,4	0,01
15/07/2015	29/07/2016	0,06	-0,09	380	-540,00	2,15	558,7	0,00
29/07/2016	20/07/2017	0,06	-0,09	356	-470,00	4,16	671,6	0,01
20/07/2017	26/07/2018	0,06	-0,09	371	150,00	42,73	336,2	0,13
26/07/2018	27/08/2019	0,06	-0,09	397	190,00	47,49	252,8	0,19
Promedio						23,13	475,00	6,7%

Tabla 2. Estimación de la recarga (mm/año) a través del análisis de fluctuaciones de niveles freáticos del freatómetro P8 de General Acha (1990 – 2019).

PERIODO								
Inicio	Final	S	TR (mm/d)	Δt (d)	Δh (mm)	Recarga (mm/año)	Precip. (mm/año)	R/P (%)
10/07/1990	01/07/1991	0,1	-0,10	356	-200	16,8	787	0,02
01/07/1991	11/08/1992	0,1	-0,10	407	-750	0,0	943,7	0,00
11/08/1992	28/06/1993	0,1	-0,10	321	300	58,3	851,7	0,07
28/06/1993	14/06/1994	0,1	-0,10	351	640	91,9	481,6	0,19
14/06/1994	22/08/1995	0,1	-0,10	434	410	79,3	550,4	0,14
22/08/1995	10/07/1996	0,1	-0,10	323	130	43,2	435,4	0,10
10/07/1996	04/07/1997	0,1	-0,10	359	-520	0,0	758,3	0,00
04/07/1997	10/07/1998	0,1	-0,10	371	-650	0,0	808	0,00
10/07/1998	13/07/1999	0,1	-0,10	368	120	46,7	732,5	0,06
13/07/1999	30/06/2000	0,1	-0,10	353	-620	0,0	887,5	0,00
30/06/2000	21/06/2001	0,1	-0,10	356	-200	16,8	759,5	0,02
21/06/2001	25/07/2002	0,1	-0,10	399	210	57,9	743,5	0,08
25/07/2002	31/07/2003	0,1	-0,10	371	690	98,3	593,5	0,17
31/07/2003	03/08/2004	0,1	-0,10	369	-780	0,0	809	0,00
03/08/2004	30/06/2005	0,1	-0,10	331	1060	127,7	683,5	0,19
30/06/2005	18/07/2006	0,1	-0,10	383	40	41,0	561,5	0,07
18/07/2006	17/07/2007	0,1	-0,10	364	-230	14,8	722,5	0,02
17/07/2007	03/07/2008	0,1	-0,10	352	270	58,7	602	0,10
03/07/2008	10/07/2009	0,1	-0,10	372	540	84,9	349	0,24
10/07/2009	07/07/2010	0,1	-0,10	362	90	43,4	496	0,09
07/07/2010	22/07/2011	0,1	-0,10	380	70	43,4	611	0,07
22/07/2011	22/06/2012	0,1	-0,10	336	330	62,5	463	0,14
22/06/2012	04/07/2013	0,1	-0,10	377	-260	13,4	611,5	0,02
04/07/2013	22/07/2014	0,1	-0,10	383	-190	20,3	574,5	0,04
22/07/2014	01/07/2015	0,1	-0,10	344	-240	12,0	589,5	0,02
01/07/2015	28/06/2016	0,1	-0,10	363	-440	0,0	686,5	0,00
28/06/2016	20/07/2017	0,1	-0,10	387	-960	0,0	1017	0,00
20/07/2017	27/06/2018	0,1	-0,10	342	1010	124,3	518	0,24
27/06/2018	23/08/2019	0,1	-0,10	422	270	65,5	613,5	0,11
Promedio						42,1	663,5	7,6%

Tabla 3. Estimación de la recarga (mm/año) a través del análisis de fluctuaciones de niveles freáticos del freatómetro P9 de General Acha (1990 – 2019).

PERIODO								
Inicio	Final	S	TR (mm/d)	Δt (d)	Δh (mm)	Recarga (mm/año)	Precip. (mm/año)	R/P (%)
10/07/1990	01/07/1991	0,07	-0,10	356	210	48,96	787	0,06
01/07/1991	11/08/1992	0,07	-0,10	407	-810	0,00	943,7	0,00
11/08/1992	28/06/1993	0,07	-0,10	321	-160	19,70	851,7	0,02
28/06/1993	01/08/1994	0,07	-0,10	399	340	62,20	554	0,11
01/08/1994	22/08/1995	0,07	-0,10	386	330	60,25	478	0,13
22/08/1995	10/07/1996	0,07	-0,10	323	240	47,89	435,4	0,11
10/07/1996	04/07/1997	0,07	-0,10	359	-50	31,05	758,3	0,04
04/07/1997	10/07/1998	0,07	-0,10	371	-340	11,91	808	0,01
10/07/1998	13/07/1999	0,07	-0,10	368	-100	28,42	732,5	0,04
13/07/1999	30/06/2000	0,07	-0,10	353	-640	0,00	887,5	0,00
30/06/2000	21/06/2001	0,07	-0,10	356	-280	14,66	759,5	0,02
21/06/2001	25/07/2002	0,07	-0,10	399	-260	20,20	743,5	0,03
25/07/2002	31/07/2003	0,07	-0,10	371	270	54,61	593,5	0,09
31/07/2003	03/08/2004	0,07	-0,10	369	-20	34,12	809	0,04
03/08/2004	30/06/2005	0,07	-0,10	331	-90	25,56	683,5	0,04
30/06/2005	18/07/2006	0,07	-0,10	383	740	88,66	561,5	0,16
18/07/2006	17/07/2007	0,07	-0,10	364	160	46,23	722,5	0,06
17/07/2007	03/07/2008	0,07	-0,10	352	180	46,48	602	0,08
03/07/2008	10/07/2009	0,07	-0,10	372	340	59,60	349	0,17
10/07/2009	07/07/2010	0,07	-0,10	362	440	65,64	496	0,13
07/07/2010	22/07/2011	0,07	-0,10	380	160	47,77	611	0,08
22/07/2011	22/06/2012	0,07	-0,10	336	370	58,24	463	0,13
22/06/2012	04/07/2013	0,07	-0,10	377	80	41,89	611,5	0,07
04/07/2013	22/07/2014	0,07	-0,10	383	270	55,76	574,5	0,10
22/07/2014	01/07/2015	0,07	-0,10	344	-460	0,91	589,5	0,00
01/07/2015	28/06/2016	0,07	-0,10	363	-70	30,04	686,5	0,04
28/06/2016	20/07/2017	0,07	-0,10	387	-1060	0,00	1017	0,00
20/07/2017	27/06/2018	0,07	-0,10	342	-210	18,22	518	0,04
27/06/2018	23/08/2019	0,07	-0,10	422	290	60,92	613,5	0,10
Promedio						37,24	663,5	6,5%

Tabla 4. Estimación de la recarga (mm/año) a través del análisis de fluctuaciones de niveles freáticos del freatómetro P3 de Padre Buodo (1990 – 2003).

PERIODO								
Inicio	Final	S	TR (mm/d)	Δt (d)	Δh (mm)	Recarga (mm/año)	Precip. (mm/año)	R/P (%)
10/07/1990	01/07/1991	0,08	-0,13	356	-1710	44,62	845	0,05
01/07/1991	11/08/1992	0,08	-0,13	407	0	51,17	582	0,09
11/08/1992	28/06/1993	0,08	-0,13	321	350	40,38	776,5	0,05
28/06/1993	01/08/1994	0,08	-0,13	399	520	50,20	542	0,09
01/08/1994	22/08/1995	0,08	-0,13	386	770	48,59	487	0,10
22/08/1995	10/07/1996	0,08	-0,13	323	250	40,63	505,5	0,08
10/07/1996	04/07/1997	0,08	-0,13	359	-980	45,05	845	0,05
04/07/1997	10/07/1998	0,08	-0,13	371	-560	46,60	864,5	0,05
10/07/1998	13/07/1999	0,08	-0,13	368	50	46,27	712,5	0,06
13/07/1999	30/06/2000	0,08	-0,13	353	-190	44,36	790,1	0,06
30/06/2000	21/06/2001	0,08	-0,13	356	-85	44,75	809,5	0,06
21/06/2001	25/07/2002	0,08	-0,13	399	45	50,16	876,5	0,06
25/07/2002	31/07/2003	0,08	-0,13	371	400	46,67	629,5	0,07
Promedio						46,11	712,74	6,8%

Tabla 5. Estimación de la recarga (mm/año) a través del análisis de fluctuaciones de niveles freáticos del freatómetro P4 de Padre Buodo (1990 – 2019).

PERIODO								
Inicio	Final	S	TR (mm/d)	Δt (d)	Δh (mm)	Recarga (mm/año)	Precip. (mm/año)	R/P (%)
10/07/1990	01/07/1991	0,1	-0,13	356	20	47,1	845	0,06
01/07/1991	11/08/1992	0,1	-0,13	407	-860	0,0	582	0,00
11/08/1992	28/06/1993	0,1	-0,13	321	-320	8,7	776,5	0,01
28/06/1993	01/08/1994	0,1	-0,13	399	210	71,6	542	0,13
01/08/1994	22/08/1995	0,1	-0,13	386	320	80,9	487	0,17
22/08/1995	10/07/1996	0,1	-0,13	323	270	68,0	505,5	0,13
10/07/1996	04/07/1997	0,1	-0,13	359	-210	24,5	845	0,03
05/07/1997	24/07/2002	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
25/07/2002	31/07/2003	0,1	-0,13	371	400	87,0	629,5	0,14
31/07/2003	03/08/2004	0,1	-0,13	369	290	75,8	867	0,09
03/08/2004	30/06/2005	0,1	-0,13	331	-70	35,0	607,5	0,06
30/06/2005	18/07/2006	0,1	-0,13	383	450	93,6	556,5	0,17
18/07/2006	17/07/2007	0,1	-0,13	364	410	87,1	716,5	0,12
17/07/2007	03/07/2008	0,1	-0,13	352	220	66,6	560,5	0,12
03/07/2008	10/07/2009	0,1	-0,13	372	290	76,2	351	0,22
10/07/2009	07/07/2010	0,1	-0,13	362	820	127,9	451	0,28
07/07/2010	22/07/2011	0,1	-0,13	380	-260	22,2	461	0,05
22/07/2011	22/06/2012	0,1	-0,13	336	430	85,6	425	0,20
22/06/2012	04/07/2013	0,1	-0,13	377	140	61,8	610	0,10
04/07/2013	22/07/2014	0,1	-0,13	383	130	61,6	631	0,10
22/07/2014	01/07/2015	0,1	-0,13	344	-460	0,0	594,5	0,00
01/07/2015	28/06/2016	0,1	-0,13	363	-350	11,0	632	0,02
28/06/2016	20/07/2017	0,1	-0,13	387	820	131,1	794	0,17
20/07/2017	27/06/2018	0,1	-0,13	342	-1690	0,0	354	0,00
27/06/2018	20/06/2019	0,1	-0,13	358	320	77,4	386	0,20
Promedio						58,4	592,1	11%