TAJAMARES: UNA TECNOLOGÍA ALTERNATIVA PARA LA ZONA ÁRIDA-SEMIÁRIDA DE LA PAMPA

A. M. Umazano, E. O. Adema y S. B. Aimar

RESUMEN

La producción primaria en el oeste y sur de la provincia de La Pampa está limitada fundamentalmente por la disponibilidad de agua. Debido al clima árido-semiárido y a la escasez de recursos hídricos superficiales y subterráneos cuali-cuantitativamente importantes, es necesario buscar alternativas para la obtención y aprovechamiento racional de agua. Una posibilidad frente a este problema es la recolección y almacenamiento de aguas meteóricas en tajamares. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de captación y almacenamiento de agua pluvial, así como la necesidad de contar con este recurso hídrico alternativo, en las regiones geomorfológicas del oeste y sur de la provincia de La Pampa. Se analizaron variables climáticas, geomórficas e hidrogeológicas; con las cuales se construyó el Mapa de isohietas y el Mapa de las regiones geomorfológicas ubicadas al oeste de la isolínea de 500 mm de precipitación media anual. Se caracterizaron geohidrológicamente las distintas regiones y se realizó una valoración cualitativa de las mismas en función de los factores físicos del ambiente. La clasificación en orden decreciente de aptitud y necesidad de captación de agua pluvial fue: I) Peneplanicie de Lihuel Calel (buena), II) Planicie de inundación actual (buena), III) Planicie medanosa (regular), IV) Mesetas y depresiones (regular), V) Paleoabanico del río Colorado (regular), VI) Planicie de Chical Co (regular) y VII) Planicie Basáltica (mala). El presente trabajo servirá de base para futuras investigaciones, orientadas a lograr una mayor productividad en la zona con un bajo impacto ambiental, tendientes a un desarrollo sustentable.

Palabras clave: tajamar, lluvias, zona árida-semiárida, La Pampa

SUMMARY

Water availability in west and south La Pampa province strongly limits range production. Alternative strategies for a rational water survey and management are imposed for the prevailing semi-arid climate and scarcity of underground and surface aqueous resources of acceptable quality and amount. A possible solution for the problem is the harvesting and storage of meteoric waters in dirt-tank. The purpose of this project was to evaluate the potential for capture and storage of pluvial waters, as well as to assess the necessity and opportunity of this alternative practice and water resource, in different geomorphic regions from the west and south of La Pampa. Maps of precipitation contours and of geomorphic regions located in the area with an annual precipitation below 500 mm were constructed, on the basis of the analysis of climatic, geomorphic and hydogeologic factors. The study characterizes the hydrogeological features of the different regions and performs a qualitative evaluation on the basis of its physical environmental factors. These regions were classified in decreasing order of aptitude and necessity of capture of pluvial waters, as follows: I) Lihuel Calel peneplain (good), II) modern floodplain (regular), III) sandy plain (regular), IV) mesas and depressions (regular), V) Colorado river fossil alluvial fan (regular), VI) Chical-Có plain (regular) and VII) basaltic plain (bad). This work found help for future research toward productivity increase for the zone with small ambiental effect, intended a sustainable development.

Key words: dirt-tank, rain, arid-semiarid zone, La Pampa province

INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos superficiales, subterráneos o pluviales, son de vital importancia para una región que basa su economía en la producción agrícola y ganadera, como la provincia de La Pampa. Esta provincia se caracteriza por sus limitadas precipitaciones, especialmente en el sector centro-occidental del territorio que posee características semiáridas-áridas (Galmarini, 1961; Roberto *et al.*, 1994). Viglizzo *et al.* (1991) mencionaron que las actividades productivas y las lluvias se correlacionan según patrones bastante precisos, que coinciden con los límites geográficos de las isohietas que atraviesan la región.

La provincia carece también de recursos hídricos superficiales importantes (Giai y Tullio, 1998), excepto el margen sur donde se encuentra el río Colorado. Sumado a esto, el manejo del sistema fluvial Atuel-Salado, aguas arriba, provoca en nuestra provincia un proceso de desertización, que agrava la problemática productiva de la zona influenciada por este sistema, con un imponderable perjuicio económico (Seara, 1972; Colombato *et al.*, 1983). El número de lagunas es escaso en virtud del régimen pluviométrico y algunas de ellas poseen elevada salinidad, conformando en su mayoría salinas y salitrales; otras tienen carácter temporal y en épocas de sequía desaparecen (Alvarellos de Lell y Hernández, 1982).

Los acuíferos de este sector de la provincia son generalmente de poco espesor, los caudales posibles de obtener son bajos, la calidad es regular a mala para la actividad pecuaria y desmejora en forma directamente proporcional a la profundidad (Bisceglia, 1977; Bojanich Marcovich, 1978; Malán, 1981; Deladino, 2000 y 2002).

El carácter semiárido-árido, la escasez de recursos hídricos superficiales y las limitantes en cuanto a cantidad y calidad de aguas subterráneas ha forjado, en la región, una estructura económica sustentada en la producción ganadera basada en el aprovechamiento del pastizal natural, en condiciones de producción extensiva-muy extensiva (Adema *et al.*, 1999).

Debido a la limitada disponibilidad de agua, es necesario buscar alternativas para la obtención y aprovechamiento racional del recurso. Una posibilidad frente a este problema, es la recolección de aguas meteóricas en represas y su reserva y utilización en épocas desfavorables, con el consiguiente aumento de la productividad de la zona (INTA-M.A.B del Chaco, 1972; Fernández Duque, 1988).

Dentro de los colectores pluviales se encuentra el tajamar, que es un embalse de agua cercado mediante la construcción de un dique o terraplén de tierra (Ministerio de Asuntos Agrarios de La Pampa, 1988). La posibilidad de su edificación está dada por las características del terreno que permitan lograr una adecuada captación del agua de lluvia.

Hofstadter (1983) analizó las posibilidades de aprovechamiento de las aguas pluviales para abrevaderos de ganado en el oeste de la provincia de La Pampa, erigiéndose hasta la actualidad como el único autor que planteó el objetivo explícito de mejorar la utilización del recurso agua pluvial a través de tajamares o represas. Los estudios realizados por este autor se encuentran desactualizados, principalmente por razones climáticas. Por ello, los productores agropecuarios del oeste y sur pampeano carecen de una base de datos multidisciplinaria actualizada, que les sirva de apoyo a los fines de intensificar la producción en dicha zona e incorporar alternativas productivas.

En virtud de la fuerte limitante cuali-cuantitativa de agua subterránea como superficial para el desarrollo de actividades productivas primarias en el oeste y sur pampeano, se considera que este sector de la provincia, presenta la necesidad de captar y almacenar fuentes alternativas de este recurso. A pesar de ser una región árida-semiárida, con balances climáticos deficitarios, presenta un gradiente de posibilidades para captar agua meteórica con la finalidad de disponer de este insumo complementario en épocas de mayor exigencia hídrica.

En función de las características climáticas, geomórficas e hidrogeológicas; se plantea como objetivo evaluar el potencial de captación y almacenamiento de agua pluvial, así como la necesidad de contar con este recurso hídrico alternativo, en las regiones geomorfológicas del oeste y sur de la provincia de La Pampa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se circunscribe a los departamentos Chical Co, Chalileo, oeste de Loventué, Puelén, Limay Mahuida, Curaco, Lihuel Calel, oeste de Utracán y sur de Caleu Caleu; localizados en el oeste y sur de la provincia de La Pampa (**Figura 1**).

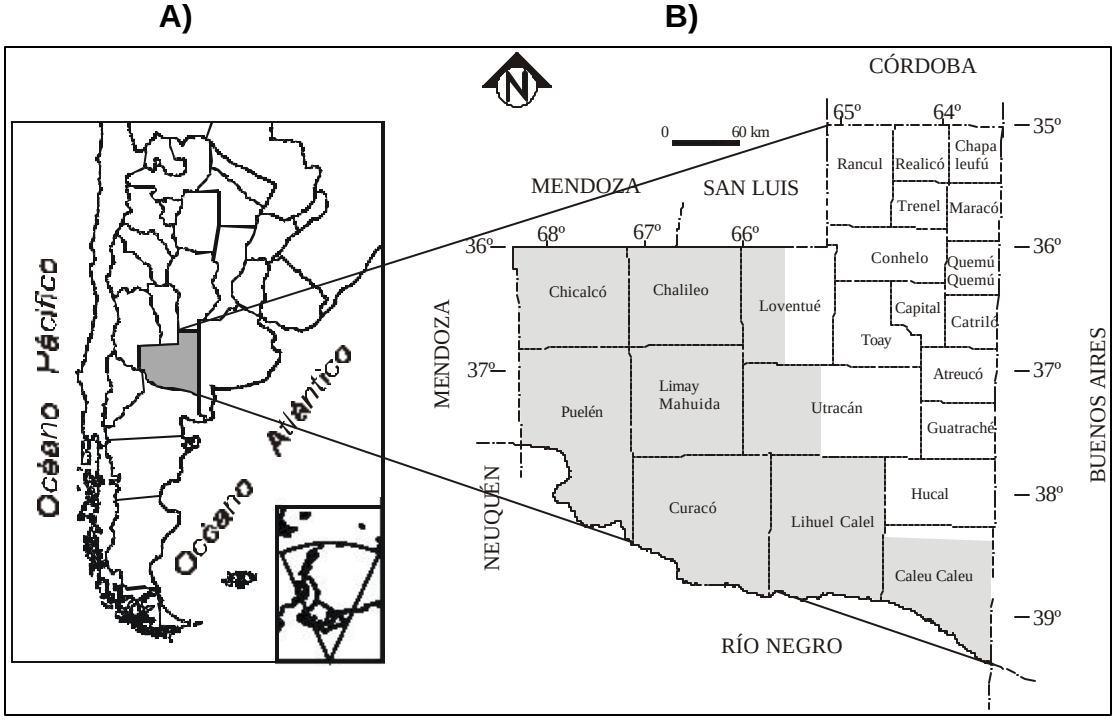


Figura 1. A) Ubicación relativa de la provincia de La Pampa en el contexto de la República Argentina. **B)** El sector sombreado representa los departamentos involucrados en el estudio.

Para realizar este trabajo se utilizó, compendió y analizó la información antecedente de variables climáticas, geomorfológicas e hidrogeológicas, dentro del sector oeste y sur de la provincia de La Pampa a escala de reconocimiento (1:500.000 a 1:1.000.000). A este nivel de intensidad se realiza un inventario amplio de los recursos y de las posibilidades de fomento a escala regional, donde la evaluación es de tipo cualitativa (FAO, 1976).

Clima. La variable climática considerada en este estudio fue la precipitación. La información pluviométrica disponible en la Dirección de Estadísticas y Censos del Gobierno de La Pampa (2001), se tomó como base para la actualización del Mapa de isohietas hasta el año 2.000 (1:750.000), utilizando una separación de 50 mm entre isohietas adyacentes.

Para la elaboración del Mapa de isohietas, se consideraron 36 localidades con registros pluviométricos de más de 20 años (excepto Casa de Piedra por su ubicación estratégica para la confección del mismo), con los cuales se recalcularon la precipitación media anual y la variabilidad (desvío estándar) de cada localidad.

Con el objetivo de pronosticar futuros escenarios pluviales y comprender la dinámica de las precipitaciones (oscilaciones y tendencias) ocurridas durante el siglo XX, se construyeron pluviogramas (pluviometría absoluta anual en función del tiempo) y se realizaron aproximaciones lineales, para cada una de las localidades analizadas.

Geomorfología. Se conformó un mosaico con las cartas topográficas disponibles, que cubren el territorio de la provincia de La Pampa al oeste de la isolínea de 500 mm de precipitación media anual (**Tabla 1**). A partir del mismo, se discriminaron unidades relativamente uniformes en función de los elementos cartográficos básicos (dirección y magnitud de las pendientes, altimetría absoluta y relativa e hidrografía). Estas regiones geomorfológicas fueron cartografiadas a escala 1:750.000. Además, una extensa recopilación bibliográfica, que incluyó cartografía geomorfológica, geológica y de suelos y trabajos de investigación (publicados e inéditos), permitió una descripción más profunda de cada una de las regiones.

Tabla 1. Cartografía utilizada para la confección de un mosaico topográfico del oeste y sur de la provincia de La Pampa.

REFERENCIA	NOMBRE	REFERENCIA	NOMBRE
3766-I	Santa Isabel	3966-9	Salitral Negro
3766-II	Victorica	3966-14	Ecia. La Silvina
3766-III	La Reforma	3966-15	Gobernador Duval
3766-IV	Gral. Acha	3963-1	Ecia. El Aguará
3769-II	Agua Escondida	3963-2	Lag. La Colorada Grande
3769-IV	Catriel	3963-7	Cerro de Los Viejos
3969-II	Neuquen	3963-8	Ecia. La Chola
3966-II	Puelches	3963-13	Río Colorado
3966-2	Ecia. Ana Cecilia	3963-14	Anzoátegui
3966-3	Laguna La Amarga	3963-20	Salinas Grandes
3966-8	Est. El Milagro		

Hidrogeología. La información hidrogeológica disponible al momento de realizar este compendio, constituyó una importante base de datos para caracterizar las distintas regiones geomorfológicas. Este procedimiento encuentra su fundamento en la marcada concordancia de las unidades geomórficas con el comportamiento y las características de las aguas subterráneas (Malán, 1981; Deladino, 2000 y 2002). Los aspectos considerados fueron: basamento hidrogeológico, unidades acuíferas, acuitardas y acuicludas, tipo de acuífero, profundidad, caudales, redes de flujo, hidroquímica y métodos de aprovechamiento del recurso.

Potencial y necesidad de captación y almacenamiento de agua pluvial. En base al análisis de factores físicos del ambiente, se estimó el potencial de captación y almacenamiento de agua pluvial y la necesidad de fuentes hídricas alternativas en cada una de las regiones geomorfológicas identificadas.

Los factores considerados fueron: precipitaciones, gradiente topográfico medio, permeabilidad del suelo, drenaje natural, sustrato, caudal y salinidad de las aguas lóticas, así como caudal y salinidad de los acuíferos. A cada factor se le asignó un valor de 5 a 1, en orden decreciente de su potencial para llevar a cabo el proceso de captación y almacenamiento de agua meteórica, así como la necesidad de nuevas fuentes hídricas. En la **Tabla 2** se muestran los distintos factores y los valores asignados.

Tabla 2. Factores utilizados para evaluar el potencial de captación y almacenamiento de agua pluvial, así como la necesidad de recursos hídricos alternativos y valores asignados.

PRECIPITACIONES (mm)	**VALOR**	**GRADIENTE TOP. MEDIO (%)**	**VALOR**
500 a 450	5	25 a 10	5
450 a 400	4	10 a 3	4
400 a 350	3	3 a 1	3
350 a 300	2	1 a 0,5	2
< de 300	1	0,5 a 0	1
PERMEABILIDAD DEL SUELO	**VALOR**	**DRENAJE NATURAL**	**VALOR**
Moderadamente lenta	5	Imperfectamente drenado	5
Moderada	4	Moderadamente drenado	4
Moderadamente rápida	3	Bien drenado	3
Rápida	2	Algo excesivamente drenado	2
Muy rápida	1	Excesivamente drenado	1
SUSTRATO	**VALOR**	**CAUDAL DE AGUAS LÓTICAS ($m^3.h^{-1}$)**	**VALOR**
Basamento aflorante	5	< de 50	5
Basamento subaflorante	4	50 a 1.000	4
Arenas	3	1.000 a 10.000	3
Arenas con rodados	2	10.000 a 100.000	2
Conglomerados	1	> de 100.000	1
SALINIDAD DE AGUAS LÓTICAS ($g.l^{-1}$)	**VALOR**	**CAUDAL DE LOS ACUÍFEROS ($l.h^{-1}$)**	**VALOR**
> de 10	5	< de 3.000	5
7 a 10	4	3.000 a 8.000	3
5 a 7	3	> de 8.000	1
3 a 5	2		
< de 3	1		
SALINIDAD DE LOS ACUÍFEROS ($g.l^{-1}$)	**VALOR**		
> de 10	5		
7 a 10	3		
< de 7	1		

Nota: Los factores caudal y salinidad de los acuíferos poseen sólo tres rangos, debido a las grandes variabilidades que presentan en una determinada región.

La valoración de las precipitaciones se realizó en intervalos de 50 mm, a partir de las isohietas actualizadas en el presente trabajo. Los valores correspondientes a gradiente topográfico medio, permeabilidad del suelo y drenaje natural fueron adaptados de los propuestos por Etchevehere (1976). En el factor sustrato se evaluó la exposición del basamento y el predominio de la diferentes fracciones sedimentarias presentes en

superficie, valorándolo en función de su porosidad. Los recursos hídricos fueron categorizados en función de la oferta y calidad de agua que manifiestan; el caudal de los acuíferos y de las fuentes lóticas denota las posibilidades de disponer de agua subterránea como superficial, en tanto, la salinidad de los mismos, denota su calidad.

Para valorar el potencial y las necesidades de cada región, se construyó una matriz en cuyas filas se ubicaron las regiones y en las columnas los distintos factores considerados (**Tabla 3**).

Tabla 3. Esquema teórico para evaluar el potencial y la necesidad de captación y almacenamiento de agua pluvial, en las regiones geomorfológicas del oeste y sur pampeano.

Factores / Región	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	Promedio
1										$\sum_{i=1}^{9} \frac{B_{1i}}{9}$
2										$\sum_{i=1}^{9} \frac{B_{2i}}{9}$
K										$\sum_{i=1}^{9} \frac{B_{ki}}{9}$
n-1										$\sum_{i=1}^{9} \frac{B_{(n-1)i}}{9}$
N										$\sum_{i=1}^{9} \frac{B_{ni}}{9}$

Factores: B1) precipitaciones; B2) gradiente topográfico medio; B3) permeabilidad del suelo; B4) drenaje natural; B5) sustrato; B6) caudal de las aguas lóticas; B7) salinidad de las aguas lóticas; B8) caudal de los acuíferos; B9) salinidad de los acuíferos.

La media aritmética de los valores asignados a los distintos factores de una región, resume las posibilidades que ésta posee para captar y almacenar agua de lluvia, así como la escasez de fuentes hídricas superficiales y subterráneas. A este promedio se lo denominó condición media de la región y se clasificó como muy buena (> a 4), buena (4 a 3), regular (3 a 2) y mala (2 a 1). Los factores B1, B2, B3, B4 y B5 determinaron el potencial de captación y almacenamiento de agua meteórica de cada región (aptitud). Por otra parte, los factores B1, B6, B7, B8 y B9 indicaron la necesidad de contar con fuentes alternativas del recurso, para fomentar el incremento de la producción primaria. El factor precipitaciones (B1) es el único que tiene influencia tanto en la captación y almacenamiento de agua, como en la evaluación de la necesidad hídrica de cada región. En este trabajo se consideró a este factor dentro del primer grupo.

Para cada región, el valor de las precipitaciones surgió de la superposición del Mapa de isohietas con el Mapa de las regiones geomorfológicas, ponderando el área comprendida entre isohietas contiguas y promediando los valores de precipitación media anual correspondientes a dichas áreas. El gradiente topográfico medio, se obtuvo promediando los módulos de los gradientes calculados sobre las cartas topográficas disponibles (**Tabla 1**). Los valores de permeabilidad del suelo y drenaje natural, fueron asignados a partir de las calicatas realizadas por INTA *et al.* (1980) en el ámbito de las distintas regiones. La naturaleza de los materiales geológicos superficiales y la profundidad relativa del basamento se obtuvieron, principalmente, de la cartografía geológica disponible. Las salinidades y caudales medios de los recursos hídricos, se calcularon a partir de los datos suministrados por diferentes autores; entre los que se destacan Malán (1981), Alvarellos de Lell y Hernández (1982), Malán *et al.* (1998), Deladino (2000) y UNLPam (2001). Cabe aclarar, que para valorar la disponibilidad de fuentes hídricas lóticas, se consideró la sumatoria de los caudales que éstas manifiestan en una determinada región.

Tomando como base los resultados obtenidos en la matriz, se calificó a cada región, en orden decreciente de potencial de captación y almacenamiento de agua pluvial, como de necesidad de recursos hídricos alternativos y se las nominó correlativamente con números romanos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Precipitaciones

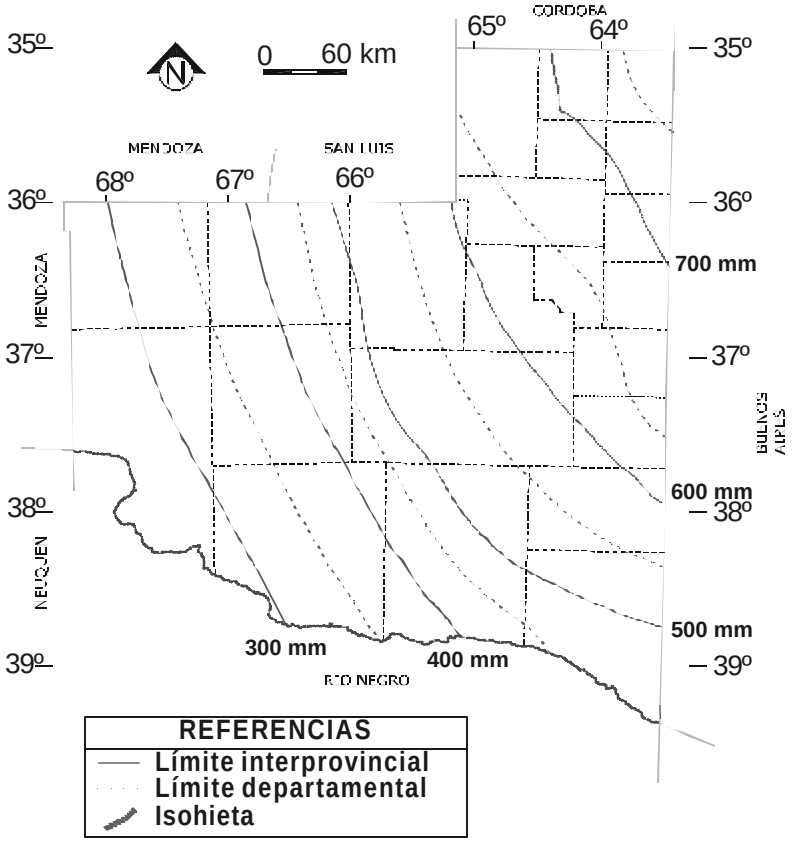
Las precipitaciones medias anuales varían desde 769,2 mm en Bernardo Larroudé a 225 mm en Cnia. 25 de Mayo (**Tabla 4**), registrándose los mayores valores en las localidades del este provincial. Con respecto a las variabilidades (D.S), en general, la magnitud ronda los 200 mm, a excepción de aquellas localidades que tienen series más cortas de datos.

Tabla 4. Precipitaciones medias anuales (mm) y desvíos estándar (mm) de 36 localidades de la provincia de La Pampa.

LOCALIDAD	PERIODO	MEDIA (mm)	D.S (mm)	LOCALIDAD	PERIODO	MEDIA (mm)	D.S (mm)
Colonia 25 de Mayo	1939-2000	225.0	120.4	Guatraché	1921-2000	640.5	201.6
Casa de Piedra	1982-2000	284.8	124.0	Alpachiri	1921-2000	653.4	209.2
Puelén	1962-2000	290.8	134.4	Eduardo Castex	1921-2000	655.4	198.9
Gobernador Duval	1963-2000	316.7	134.6	Winifreda	1921-2000	655.9	207.7
Puelches	1962-2000	381.6	145.7	Macachín	1921-2000	660.8	199.9
Santa Isabel	1934-2000	382.7	198.4	Conhelo	1921-2000	662.7	201.7
La Reforma	1962-2000	399.6	129.0	Ingeniero Luiggi	1921-2000	664.4	213.3
La Adela	1960-2000	450.3	128.4	Rancul	1921-2000	681.2	229.2
Chacharramendi	1962-2000	503.1	178.1	Trenel	1921-2000	682.5	209.8
Cuchillo Có	1962-2000	522.5	161.9	Caleufú	1921-2000	686.9	242.0
Victorica	1921-2000	557.7	197.7	Colonia Barón	1921-2000	690.1	206.1
Telén	1921-2000	558.1	192.2	Miguel Riglos	1921-2000	696.6	226.7
General Acha	1921-2000	573.3	196.3	Embajador Martini	1921-2000	701.1	231.5
Bernasconi	1921-2000	588.4	194.1	Catriló	1921-2000	702.1	200.0
General San Martín	1921-2000	594.9	176.8	Realicó	1921-2000	707.9	200.8
Quehué	1921-2000	602.7	209.8	General Pico	1921-2000	712.4	199.4
Luan Toro	1921-2000	619.2	230.4	Intendente Alvear	1921-2000	768.6	227.5
Santa Rosa	1921-2000	626.6	189.4	Bernardo Larroudé	1921-2000	769.2	193.9

El aumento de las precipitaciones en las últimas décadas, impone la necesidad de recalcular los valores medios anuales y reconstruir el mapa de isohietas con cierta periodicidad. Roberto *et al*. (1994) sugirieron un retrazado de las mismas con una recurrencia no mayor a diez años. Debe tenerse presente que los cambios pluviométricos pueden resultar especialmente importantes en regiones donde las lluvias limitan la producción (Parry, 1990; Viglizzo *et al.*, 1991 y 1995; Viglizzo, 1994), tal es el caso del oeste y sur pampeano.

La distribución de las isohietas considerando el período 1921-2000 (**Mapa 1**), muestra que las mismas poseen rumbo NO-SE, con tendencia submeridiana hacia el oeste provincial. Se observa una disminución de las precipitaciones con azimut suroeste, coincidiendo con lo expuesto por Galmarini (1961) y Roberto *et al.* (1994).



Mapa 1. Isohietas de la Provincia de La Pampa. Período: 1921-2000

Si comparamos el Mapa de isohietas correspondiente al período 1921-2000 (**Mapa 1**), con el realizado por Roberto *et al.* (1994), más aún, con el de INTA *et al*. (1980) puede apreciarse un corrimiento de las isolíneas hacia el suroeste (**Figura 2**).

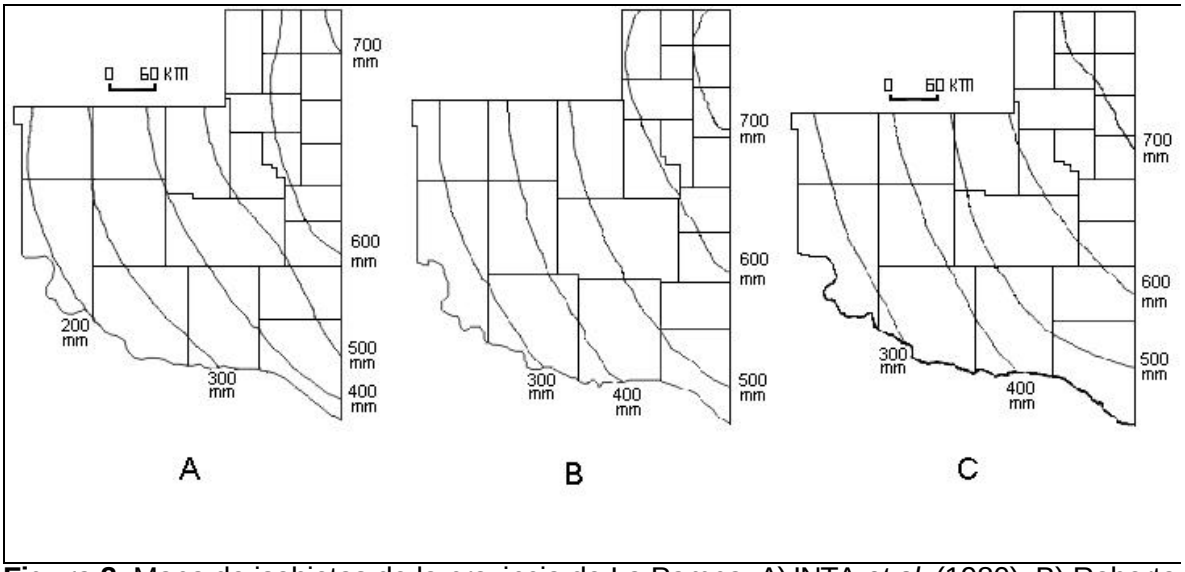


Figura 2. Mapa de isohietas de la provincia de La Pampa. A) INTA *et al.* (1980); B) Roberto *et al.* (1994); C) mapa actualizado (1921-2000).

Este corrimiento está relacionado con un episodio de mayor pluviosidad registrado en las últimas décadas. La magnitud del desplazamiento de las isohietas decrece en sentido este-oeste, observándose los mayores corrimientos en el sector oriental de la provincia, probablemente debido a la mayor cantidad de años de registro (**Tabla 4**), ya que las localidades del oeste comenzaron a tomar información más recientemente y por eso no se ven reflejadas las escasas lluvias de los años anteriores a la década del 60. Tomando como ejemplo el caso puntual de General Acha, se verifica un aumento en la precipitación media anual a medida que la serie es más larga; 471 mm para la serie 1921/1960, 519 mm para 1921/1990 y 573 mm para 1921/2000. Situación que es similar, en mayor o menor cuantía, en todas las localidades analizadas.

Las aproximaciones lineales muestran en todos los casos tendencias crecientes (**Anexo**), argumento que coincide con el aumento de las precipitaciones medias anuales y favorece la intención de captar y almacenar agua pluvial.

Según Roberto *et al.* (1994) la importancia de estudiar la evolución histórica de las lluvias de una región y su probable proyección futura sirven para prever acciones que ayuden a enfrentar, satisfactoriamente, condiciones ambientales diferentes de las actuales. El interrogante que cabe aquí es ¿estamos en presencia de una oscilación pendular, como proponen Suriano y Ferpozzi (1993) o nos encontramos ante un verdadero cambio climático con precipitaciones de tendencia creciente? La pregunta no tiene una respuesta cierta en la actualidad porque es necesario una mayor cantidad de años en los registros pluviométricos, para poder responder el interrogante.

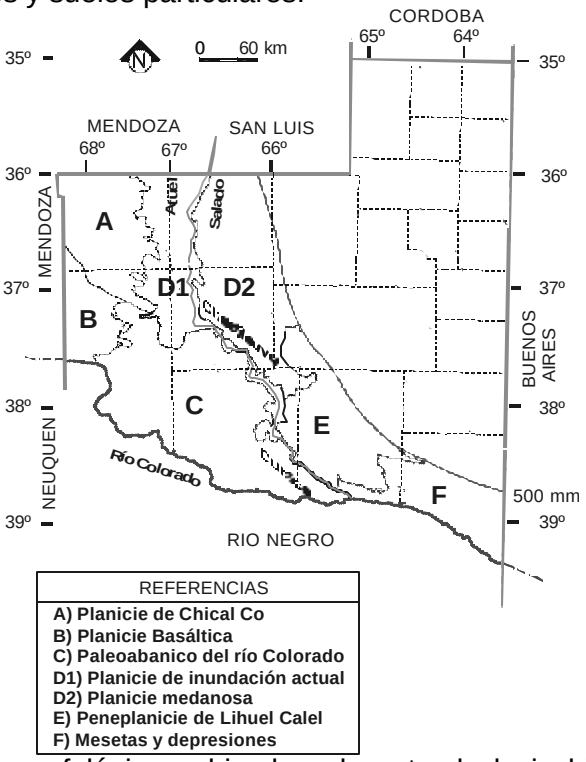
La distribución temporal de las lluvias en nuestra provincia queda bien evidenciada en los balances climáticos realizados por INTA *et al.* (1980) y Deladino (2000). Los mismos, muestran una mayor precipitación en los meses de primavera y verano, con un descenso pluviométrico en otoño e invierno. La escasez de datos pluviográficos en la zona de estudio no permite acotar de manera precisa las intensidades de las lluvias. Sin embargo, como ésta es uno de los agentes activos en el proceso de erosión superficial y a partir de la presencia de abundantes geoformas erosivas hídricas (cárcavas) en el oeste de la provincia (INTA *et*

al., 1980; Calmels, 1996), se infiere la existencia de precipitaciones de carácter torrencial. No obstante, la magnitud de los procesos erosivos depende de la interacción entre las propiedades edáficas (textura, contenido de materia orgánica y permeabilidad), la topografía (longitud e inclinación de la pendiente) (Wischmeier y Smith, 1978; Adema *et al*., 2001), la cobertura vegetal y las prácticas de manejo para cada sitio (Thurow, 1991; Adema *et al*., 2003).

Desde el punto de vista del balance hídrico los excesos se producen principalmente en los meses de junio y julio, con un sesgo hacia la primavera y el otoño, dependiendo de la ubicación geográfica de las localidades consideradas (INTA *et al.*, 1980; Deladino, 2000). Aunque los meses en los cuales se producen los excesos son de escasas precipitaciones, la baja tasa de evapotranspiración conduce a un resultado positivo en el balance. La variabilidad de las precipitaciones año a año es también una característica de la provincia (Prohaska, 1961; Galmarini, 1961), que lleva implícito variaciones en los balances hídricos de distintos años para una localidad dada.

Geomorfología

Tomando como base el mosaico de cartas topográficas y la bibliografía consultada (Espejo y Silva Nieto, 1996; Melchor y Llambías, 2000; Melchor y Casadío, 2001; entre otras), se dividió al área de estudio en seis regiones geomorfológicas, al oeste de la isohieta de 500 mm (**Mapa 2**). Cada una de estas se encuentra caracterizada por pendientes (direcciones y magnitudes), altimetrías (absolutas y relativas), sustratos, diseños de drenaje, procesos morfogenéticos y suelos particulares.



Mapa 2. Regiones Geomorfológicas ubicadas al oeste de la isohieta de 500 mm en la provincia de La Pampa. **A)** Planicie de Chical Co, **B)** Planicie Basáltica, **C)** Paleoabanico del río Colorado, **D)** Sistema fluvial del Atuel-Salado-Chadileuvú-Curacó (**D1:** Planicie de inundación actual y **D2:** Planicie medanosa), **E)** Peneplanicie de Lihuel Calel, **F)** Mesetas y depresiones.

A) Planicie de Chical Co

Localización. Esta región limita al norte y al oeste con la provincia de Mendoza, al sur con la Planicie Basáltica y el Paleoabanico del río Colorado y al este con el Sistema fluvial del Atuel-Salado-Chadileuvú-Curacó. Abarca casi la totalidad del departamento Chical Co, excepto los sectores oriental y suroccidental del mismo. El límite entre la Planicie de Chical Co y el Sistema fluvial está marcado por un conjunto de bardas semicontinuas. Estas geoformas se encuentran a cotas que oscilan de 350 a 450 metros s.n.m., quedando las terrazas en la Planicie y las depresiones topográficas en el Sistema fluvial. Con respecto a la unidad localizada inmediatamente al sur (Planicie Basáltica), el límite fue trazado en base a un cambio en el tipo de sustrato.

Topografía y geoformas. La región presenta morfología de planicie con suave pendiente regional hacia el E-SE. Sin embargo, se presentan elevaciones aisladas originadas por afloramientos rocosos de litologías muy disímiles (Rimoldi y Silva Nieto, 1999) y pequeñas áreas plano-cóncavas producto de la actividad hídrica (INTA *et al.*, 1980). Las alturas máximas se dan en el extremo noroccidental de la provincia de La Pampa, superando los 1.150 metros s.n.m. Hacia el este y sureste las cotas descienden hasta los 450 metros s.n.m. (límite con el Sistema fluvial) y 500 metros s.n.m. (límite con el Paleoabanico). El gradiente topográfico calculado entre Agua Escondida y La Humada es de 0,47 %. En tanto, entre La Humada y la intersección de la Ruta Provincial Nº 10 con la Planicie de inundación actual, es de 0,44 %.

Sustrato. Está compuesto por una cobertura sedimentaria constituida por arenas, rodados y limos (González Díaz, 1972a). La acumulación sedimentaria cubre toda la región, con espesores que varían entre 0,40 y 1,50 metros; encontrándose los menores espesores en el oeste. Por debajo de esta cubierta se encuentra la Formación Gran Salitral (Melchor y Casadío, 2001) que remata en una costra calcárea casi continua (Giai, 1975), cuyo espesor llega hasta 2 metros (INTA *et al.*, 1980). Las acciones hídricas han sido responsables de la acumulación sedimentaria, evidenciada por la presencia de cursos fluviales efímeros paralelos a la pendiente regional y cantos rodados distribuidos en el material arenoso superficial.

Hidrografía. La red de drenaje está compuesta por wadis paralelos o subparalelos a la pendiente regional, por los que escurren las limitadas lluvias de esta región. Se presentan escasas salinas y salitrales en depresiones, como consecuencia del drenaje endorreico convergente y la alta tasa de evapotranspiración. El único recurso hídrico superficial significativo es el manantial Agua de Torres, situado en el noroeste del departamento Chical Co. Posee un caudal de 90 a 108 $m^3.h^{-1}$ (Alvarellos de Lell y Hernández, 1982) y un residuo seco de 1,644 $g.l^{-1}$. (González Díaz, 1972a). Actualmente suministra agua potable a la población de La Humada.

Suelos. Presentan escaso desarrollo genético y perfil tipo C1-C2 en discordancia abrupta sobre una costra calcárea (tosca). Los materiales parentales son arenas cuarzosas de reciente deposición. La textura es arenosa fina, contienen carbonato de calcio y clastos de origen volcánico distribuidos en forma errática en todo el perfil. La permeabilidad es rápida, el drenaje excesivo y por ello poseen baja capacidad de retención a la humedad. El suelo dominante se clasifica como Paleortid ustólico; los suelos asociados reconocidos son Torripsamentes típicos y líticos (según la tosca se encuentre debajo o encima de los 50 cm, respectivamente). Los sectores deprimidos del paisaje pueden presentar suelos leve a fuertemente salinos (INTA *et al.*, 1980).

B) Planicie Basáltica

Localización. Limita al oeste con la provincia de Mendoza, al sur con el río Colorado, al norte con la Planicie de Chical Co y al este con el Paleoabanico del río Colorado. Se desarrolla principalmente en el centro-oeste del departamento Puelén, extendiéndose hacia el sector suroeste del departamento Chical Co. El límite entre la Planicie Basáltica y el Paleoabanico del río Colorado fue trazado en base a una disminución relativa de la pendiente, de manera aproximadamente paralela a la curva de nivel de 500 metros s.n.m.

Topografía y geoformas. Presenta una inclinación regional de O a E. Las mayores alturas se encuentran en el borde occidental (800 metros s.n.m.) y las menores en el oriental (500 metros s.n.m.). Los gradientes topográficos calculados entre Puesto Agua de La Vidriera-Puelén y Puesto Jaguel de Moya-Puesto La Copelina son de 0,31 % y 0,34 %, respectivamente. En sentido general, se trata de un relieve plano y uniforme; interrumpido por áreas plano-cóncavas alargadas en dirección NO-SE. Localmente, el relieve plano se diferencia en lomas muy suaves y depresiones que marginan a las lomas (INTA *et al.*, 1980).

Sustrato. En esta región predominan fundamentalmente dos tipos litológicos; el basalto (Basalto El Mollar), dispuesto en forma de un manto suavemente ondulado y una cubierta sedimentaria areno-gravosa de poco espesor (Rimoldi y Silva Nieto, 1999). En las lomas aflora el basalto, cuyo espesor llega a superar los 10 metros (Sobral, 1942a y b). Las depresiones intercaladas entre las lomas tienen una cobertura predominantemente arenosa, la que generalmente a partir de los 30 a 40 cm se compacta y endurece. El espesor de la arena en los bajos supera los 2 metros (INTA *et al.*, 1980). Es evidente la importancia de los derrames lávicos provenientes principalmente del volcán Payun Matru, durante el Cuaternario (González Díaz, 1972b). Según Bermúdez y Delpino (1989), se habrían generado a partir de un vulcanismo fisural, que emitió en varios pulsos coladas extremadamente fluidas y de extenso recorrido desde varios centros eruptivos (Payun Matru, Agua Poca, El Escorial y otros) localizados en el este de Mendoza y oeste de La Pampa.

Hidrografía. El diseño hidrográfico de la región se encuentra representado por escasos cursos esporádicos y cuerpos ácueos de baja salinidad, localizados en sectores planos o poco deprimidos del terreno y con aporte subterráneo (manantiales). A pesar del tipo de alimentación, Bisceglia (1977) consideró que estos sufren variaciones de caudal de acuerdo con la pluviosidad. En las **Tablas 5 y 6** se presentan datos de caudal y propiedades físico-químicas del agua de los principales manantiales del departamento Puelén. Estos representan por su calidad los únicos recursos hídricos superficiales importantes, a excepción del río Colorado.

Tabla 5. Registros de caudal de los principales manantiales del departamento Puelén. Período: mayo de 1994/diciembre de 1996. Adaptado de Malán *et al.* (1998).

MANANTIAL	NÚMERO DE DATOS	CAUDAL ($m^3.h^{-1}$)		
		Medio	Máximo	Mínimo
Los Carrizales Norte	126	25,92	57,6	6,84
Los Carrizales Sur	130	19,44	37,08	9
Buta Ranquil C. de piedra	26	24,84	42,48	17,64
Buta Ranquil Norte	26	96,48	135	90,36
La Copelina	114	22,32	33,84	15,12

Tabla 6. Valores de algunas propiedades físico-químicas de los principales manantiales del departamento Puelén. Período: mayo de 1994/diciembre de 1996. Adaptado de Malán *et al.* (1998).

MANANTIAL	RESIDUO SECO			DUREZA			R.A.S			BORO		
	Medio	Máx.	Mín	Medio	Máx.	Mín	Medio	Máx.	Mín	Medio	Máx.	Mín
Los Carrizales Norte	2156	2440	2055	644	840	572	8	9,6	6,6	0,65	1	0,2
Los Carrizales Sur	2171	2420	2036	625	800	560	8,2	9,7	7,3	0,61	1,1	0,3
Buta Ranquil Norte	2166	2424	2055	665	840	604	7,9	9,3	6,5	0,55	1	0,2
Buta Ranquil C. de Piedra	2166	2420	2054	653	840	592	8,1	9,8	6,7	0,71	1,1	0,4
La Copelina	2419	2774	2314	660	840	600	9,3	11,3	8,1	0,66	1	0,5

Nota: todos los valores se expresan en $mg.l^{-1}$, excepto el R.A.S que es adimensional.

Suelos. Predominan Torriortentes líticos, cuyos materiales parentales corresponden a arenas que yacen generalmente sobre basaltos o sobre rodados de vulcanitas. Son suelos pobremente desarrollados, tienen textura arenosa, permeabilidad muy rápida, drenaje excesivo y en la mayoría de los casos contienen carbonato de calcio diseminado y en concreciones. A veces se presentan horizontes compactados a una profundidad de 30 a 40 cm. Torripsamentes típicos (basalto a más de 50 cm de la superficie) y Salortides típicos o Natrargides ácuicos (en sectores con topografía negativa y con presencia de manantiales) se presentan como subordinados. Los suelos ubicados en los bajos manifiestan permeabilidad lenta y drenaje pobre. La margen izquierda del río Colorado presenta suelos clasificados como Ustifluventes. Estos conforman una faja de ancho variable, semicontinua y subparalela al curso fluvial; a lo largo del límite sur de la provincia de La Pampa (INTA *et al.*, 1980).

C) Paleoabanico del río Colorado

Localización. Se encuentra al sur y oeste del Sistema fluvial del Atuel-Salado-Chadileuvú-Curacó, al norte del río Colorado y al este de la Planicie Basáltica. Ocupa parcialmente los departamentos Curacó, Puelén, Limay Mahuida y Lihuel Calel. El límite occidental se encuentra marcado por una disminución de la pendiente paralela a la curva de nivel de 500 metros s.n.m. Por otra parte, en los límites norte y oriental se produce un cambio en la vergencia de las bardas. Aquellas que dejan las depresiones topográficas al norte y este se vinculan a la actividad del Sistema fluvial; en tanto aquellas que dejan las depresiones hacia el sur, se relacionan con la migración del río Colorado durante el Cuaternario (Linares *et al.*, 1980; Cazenave, 1987).

Topografía y geoformas. En general, la topografía corresponde a una planicie (Planicie Curacó) de suave inclinación regional NO-SE, en ciertos lugares mesetiforme, únicamente

disectada por geoformas negativas elongadas en el sentido de la pendiente. Linares *et al.* (1980) a partir del análisis de imágenes satelitales, interpretaron a estas geoformas como paleocauces del río Colorado. El gradiente topográfico regional, calculado entre Colonia 25 de Mayo y Gobernador Duval, es de 0,03 %. Sin embargo, en dirección perpendicular a la pendiente regional, se presentan gradientes que promedian 1 %, debido a la marcada diferencia de altura entre los sectores mesetiformes y el fondo de los paleocauces. En el sector sur de la región se encuentra el valle del río Colorado, de ancho variable y con desarrollo de terrazas en ambos márgenes. El río tiene un curso meandriforme y divagante, en ocasiones se observan meandros abandonados y lagunas semilunares, aunque localmente se rectifica.

Sustrato. Tapizando las formas positivas del relieve y aflorando en los márgenes de las mismas, se encuentra una capa de rodados de vulcanitas (Vilela y Riggi, 1956; Calmels, 1996). El manto psefítico corresponde a la Formación Tehuelche (Espejo y Silva Nieto, 1996) y está formado por conglomerados con matriz arenosa, cementados por calcáreo; cuyo espesor visible promedio es de 2 metros. Por encima de la capa de rodados y colmatando parcialmente los paleocauces, se presentan sedimentos arenosos, limo-arenosos y conglomerados. El espesor de esta cubierta varía desde pocos decímetros sobre los rodados a más de 1,50 metros en las geoformas negativas (INTA *et al.*, 1980).

Hidrografía. El elemento hidrográfico más conspicuo es el río Colorado. Los deshielos en la Cordillera de Los Andes son su principal fuente de alimentación y, debido a las escasas precipitaciones pluviales en las cuencas de sus afluentes, sus mayores caudales se registran en los meses estivales. Su caudal medio oscila en torno a los 130 $m^3.seg^{-1}$, con máximos anuales del orden de los 500 $m^3.seg^{-1}$ y crecidas cíclicas de aproximadamente 11 años que superan los 1.100 $m^3.seg^{-1}$ (Alvarellos de Lell y Hernández, 1982). Muestreos sistemáticos en Casa de Piedra y Pichi Mahuida promediaron una salinidad inferior a 1 $g.l^{-1}$ siendo el agua sulfatada-cálcica (UNLPam, 2001). Uliana y Camacho (1975) mencionaron la posibilidad de que los iones Ca^{++} y $SO_4^{=}$ presentes en el agua, deriven de la solubilización de una capa de yeso incluida dentro de la Formación Vaca Mahuida; ya que esta unidad litoestratigráfica es disectada en algunos sectores por el curso actual del río. El Na^{+} es importante en este curso fluvial y su presencia se vincularía a aportes antrópicos en el área bajo riego de Cnia. 25 de Mayo, aunque no puede descartarse un aporte sedimentario (UNLPam, 2001).

Completando el diseño de drenaje se encuentran wadis por donde escurren las escasas lluvias de la región. Cuando estos cauces efímeros convergen en una depresión topográfica suelen formarse salitrales (de La Perra, Negro) y salinas (San Máximo, Gestau). Sudamconsult y Asociados (1970) determinaron una superficie de 44 km^2 para el Salitral de La Perra (cuerpo salino más grande de la región); cuyas salmueras poseen un neto predominio de NaCl, con $MgSO_4$ como principal impureza.

Suelos. Las geoformas positivas de esta región (terrazas) presentan suelos con escaso desarrollo genético, generados a partir de arenas muy gruesas que yacen sobre una costra calcárea localizada antes del metro. El perfil es del tipo AC-C, la textura arenosa y contienen carbonato de calcio y rodados volcánicos distribuidos de manera errática. Presentan baja capacidad de retención de humedad, permeabilidad moderadamente rápida a moderada y drenaje algo excesivo. El suelo dominante se clasifica como Torripsamente típico, con suelos asociados similares pero en fase somera (tosca antes de los 40 cm). Los paleocauces (geoformas negativas) poseen suelos semejantes a los anteriores, pero más húmedos, y se clasifican como Torripsamentes ústicos. Entre el Gran Salitral y el Salitral de

La Perra se desarrolló un Calciortid lítico sobre una planicie arenosa, el perfil tipo es C o AC-C, con graves limitaciones para el desarrollo de las plantas y baja capacidad de retención a la humedad. Áreas fuertemente inclinadas y con alta pedregosidad presentan suelos clasificados como Misceláneos (INTA *et al.*, 1980).

En los sectores sur, sureste y suroeste de esta región se dan afloramientos de rodados de vulcanitas; cuya presencia ha condicionado la evolución pedogenética. Los suelos que aquí se presentan predominantemente son Torripsamentes líticos y típicos; aunque también se dan Calciortides típicos cuando la matriz de los rodados es muy calcárea (INTA *et al.*, 1980).

D) Sistema fluvial del Atuel-Salado-Chadileuvú-Curacó

Es una amplia región vinculada con la actividad fluvial de los cursos que pertenecen a la Cuenca del Desaguadero. Estos cursos se encuentran probablemente controlados por lineamientos regionales (Bastias *et al.*, 1993) y han experimentado una migración de E a O (Cazenave, 1987; Melchor y Llambías, 2000). Dentro de la región se diferencian dos subregiones: Planicie de inundación actual (D1) y Planicie medanosa (D2). La primera abarca el sector occidental del Sistema, representando la porción que manifiesta actividad fluvial en la actualidad. La Planicie medanosa, localizada inmediatamente al este de la anterior, posee una cubierta sedimentaria arenosa potente, que ha sepultado los materiales aluviales más antiguos (Calmels, 1996).

D1) Planicie de inundación actual

Localización. Se encuentra ubicada al este de las Planicies de Chical Co y Basáltica y, al norte y oriente del Paleoabanico del río Colorado. Su margen oriental es lindante con la Planicie medanosa, la Peneplanicie de Lihuel Calel y las Mesetas y depresiones. Es una franja con rumbo NO-SE; que se extiende desde los 36º S (límite norte de La Pampa con las provincias de San Luis y Mendoza) hasta el río Colorado. Abarca la porción oriental del departamento Chical Có, oeste de Chalileo, este de Puelén, gran parte de Limay Mahuida, noreste y centro-este de Curacó y suroeste de Lihuel Calel.

Topografía y geoformas. El paisaje es relativamente llano, excepto al pie de las bardas que marcan el límite entre la Planicie de Chical Co y el Sistema fluvial, donde se desarrollan mayores gradientes topográficos. Sobre estas bardas se han labrado cañadones que conducen las precipitaciones ocurridas en la Planicie de Chical Co hacia la región del epígrafe. La pendiente regional es NO-SE, con cotas de 350 metros s.n.m. en el límite norte y 150 metros s.n.m. en el límite sur. Varios autores (Cazenave, 1987; Melchor y Llambías, 2000) reconocieron la presencia de depresiones interconectadas y entrelazadas (paleocauces) al este de los cursos fluviales activos. Los gradientes topográficos calculados entre Algarrobo del Águila-Paso de Los Algarrobos y La Reforma-laguna La Dulce son de 0,05 % y 0,006 %, respectivamente. Más al sur, entre la laguna La Amarga y la confluencia del río Curacó con el río Colorado, el gradiente topográfico es del 0,02 %. Como geoformas positivas sobresalen elevaciones aisladas, correspondientes a afloramientos rocosos de litologías muy variables (Rimoldi y Silva Nieto, 1999).

Sustrato. En superficie, predominan sedimentos aluviales arenosos, con espesores generalmente mayores a los 2 metros, denominados informalmente Formación Santa Isabel por Bojanich Marcovich (1978). Es frecuente encontrar sedimentos limosos a arcillosos dispuestos en forma de lentes discontinuas, a una profundidad que oscila de 0,70 a 1,20

metros (INTA *et al.*, 1980). Según Deladino (2000) el valle de los ríos Atuel y Salado se halla excavado en los sedimentos arenosos, limosos y arcillosos de la Formación Gran Salitral. Si bien se observa en la región predominancia de morfogénesis hídrica, se presentan depósitos eólicos asociados a la pendiente y a la llanura aluvial de los ríos; poniendo en evidencia que las acciones del viento pueden ser consideradas como un proceso morfogenético secundario.

Hidrografía. Los ríos Salado y Atuel, pertenecientes a la Cuenca del Desaguadero, penetran por el norte en la provincia de la Pampa y se unen 6 kilómetros al sur de Paso de Los Algarrobos, para formar el Salado-Chadileuvú. Este corre hasta una zona de lagunas (La Dulce, Urre Lauquen y La Amarga) ubicada en el centro-este del departamento Curacó, a partir de donde comienza a denominarse de manera homónima. Cazenave (1987) realizó un análisis del sistema hidrográfico y concluyó que los ríos Atuel y Salado han migrado hacia el occidente. Melchor y Llambías (2000) mencionaron a la migración del río Chadileuvú como evidencia a favor de un régimen tectónico extensional en la región.

Tanto el río Atuel como el Salado son de régimen nival, por lo que deberían presentar un hidrograma anual con períodos alternantes de crecientes (primavera y verano) y estiajes (otoño e invierno) (Custodio y Llamas, 1983). Esto no ocurre, como consecuencia de las obras de aprovechamiento realizadas aguas arriba, en las provincias de San Juan y Mendoza. Dichas obras han provocado un descenso de la humedad edáfica, desencadenando procesos de erosión eólica y desertización (Seara, 1972). La **Tabla 7** muestra los caudales medios, máximos y mínimos de los cursos fluviales que integran la Cuenca del Desaguadero en la provincia de La Pampa.

Tabla 7. Caudales medios, máximos y mínimos de los ríos Atuel, Salado y Salado-Chadileuvú en La Pampa. Construida a partir de los datos de UNLPam (2001).

RÍO	ESTACIÓN DE AFORO	CAUDAL MEDIO ANUAL ($m^3.seg^{-1}$)	CAUDAL MÁXIMO ($m^3.seg^{-1}$)	CAUDAL MÍNIMO ($m^3.seg^{-1}$)	PERÍODO
Atuel	Puesto Anguero Ugalde	91,4	184,9	8,6	1980-00
Salado	Paso del Loro	24,6	-	-	1980-00
Salado-Chadileuvú	La Reforma	18,7	-	-	1980-00

Actualmente, el río Curacó funciona como receptor de las precipitaciones pluviales ocurridas en la cuenca, originando escurrimientos y enlagunamientos temporarios. Esto se debe al tapón de cierre construido en la laguna La Amarga, actuando ésta como nivel de base del Salado-Chadileuvú e impidiendo el libre drenaje hacia el río Colorado. Con respecto a la hidroquímica de estos cursos, el río Atuel manifiesta un residuo seco medio de 2,77 $g.l^{-1}$, el Salado 19,29 $g.l^{-1}$ y el Salado-Chadileuvú 5,21 $g.l^{-1}$. El carácter geoquímico de los ríos Atuel y Salado, según diagramas Piper, muestra el carácter clorurada-sulfatada/cálcica-magnésica para dichas aguas (UNLPam, 2001). Por su parte, las salinidades máximas medidas en las lagunas La Amarga, Urre Lauquen y La Dulce son de 237 $g.l^{-1}$, 101 $g.l^{-1}$ y 66,5 $g.l^{-1}$, respectivamente (Bisceglia, 1980).

El Gran Salitral o Salina Grande, localizado en el suroeste del departamento Limay Mahuida, representa el cuerpo de agua más importante después de los cursos fluviales.

Ocupa una superficie de 428 km^2 según Spartan (1981). Melchor y Casadío (2001) mencionaron al Arroyo Potrol como la fuente de alimentación del cuerpo, a partir de excedentes ocasionales de los ríos Atuel y Salado. Sudamconsult y Asociados (1970) caracterizaron la salmuera y encontraron NaCl, Na_2SO_4 y $MgSO_4$, coincidiendo con las especies químicas halladas por Cordini (1967) en el Arroyo Potrol.

Suelos. Una franja de orientación submeridiana que se extiende desde los 36º S hasta el límite con el Paleoabanico; con pendientes pronunciadas, que disminuyen su inclinación hacia el este, constituyen la porción occidental de la región. En ésta se han desarrollado Torriortentes típicos en la zona de mayor pendiente y Torripsamentes típicos, asociados con Torripsamentes ústicos en la zona de baja pendiente. Ambos presentan un perfil tipo AC-C, permeabilidad rápida, drenaje excesivo, material calcáreo (en concreciones y en masa) y textura arenosa. Al pie de esta pendiente se encuentra la llanura aluvial, la que continúa hasta la desembocadura del Curacó en el río Colorado. Los suelos no presentan diferenciación en horizontes y están constituidos por capas alternantes de distinta textura. Los materiales parentales son arenas limosas y arcillosas fluvio-lacustres y sedimentos arenosos o limo-arenosos de origen fluvio-eólico. Poseen permeabilidad moderada a moderadamente lenta y drenaje imperfecto a moderado. Sistemáticamente predominan los Torrifluventes típicos y Torripsamentes típicos, pudiendo encontrarse en los sectores deprimidos del terreno, Salortides típicos y acuólicos (INTA *et al.*, 1980).

D2) Planicie medanosa

Localización. Limita al oeste con la Planicie de inundación actual, al este con la isohieta de 500 mm y al norte con el paralelo de 36º S; acuñándose contra el extremo noroccidental de la Peneplanicie de Lihuel Calel. Ocupa gran parte del departamento Chalileo, centro-este de Limay Mahuida, este de Utracán, noreste de Curacó y una pequeña superficie del suroeste de Loventué.

Topografía y geoformas. La topografía de esta región es plana a suavemente ondulada, con altimetrías que promedian los 300 metros s.n.m. Los gradientes topográficos calculados entre Colonia La Pastoril-INTA (Chacharramendi) y Limay Mahuida-INTA (Chacharramendi) son de 0,03 % y 0,01 %, respectivamente. El carácter ondulado del paisaje se debe, principalmente, a la presencia de geoformas acumulativas arenosas; las que predominan como cordones medanosos en el sector norte de la región y como médanos circulares en el sector sur. Iriondo (1994) e Iriondo y Krohling (1995) incluyeron a estas acumulaciones arenosas dentro del "Mar de Arena Pampeano", gestadas por el "Sistema Eólico Pampeano", el cual estuvo activo durante el último máximo glacial de Los Andes (Clapperton, 1983).

En el sur de la región se presentan afloramientos rocosos de pequeña altura relativa, los que imprimen, además de las acumulaciones arenosas, ondulosidad al paisaje.

Sustrato. Toda el área está cubierta por material arenoso que supera los 6 metros de potencia. La textura es arenosa fina; en el sector occidental estas arenas se encuentran mezcladas con material calcáreo y salino (INTA *et al.*, 1980). Tullio (1981) caracterizó las arenas desde un punto de vista sedimentológico y concluyó que presentaban buena selección y madurez composicional. Rimoldi y Silva Nieto (1999) se refirieron a la cubierta arenosa como Formación Junín; en tanto Melchor y Llambías (2000) la denominaron Formación Meaucó. Debajo de las arenas, se encuentran los limos arenosos con intercalaciones pelíticas correspondientes a la Formación Cerro Azul (Llambías, 1975;

Linares *et al.*, 1980). La morfogénesis eólica que dio lugar a la potente cubierta sedimentaria arenosa tuvo su origen en materiales transportados por el río Salado-Chadileuvú y luego retransportado por los vientos predominantes de la región (Canelle, 1950; INTA *et al.,* 1980; Calmels, 1996; Iriondo, 1997).

Hidrografía. Como resultado de los bajos gradientes topográficos y de la cubierta arenosa (cordones medanosos, médanos aislados y áreas intermedanosas), el drenaje se encuentra representado por muy escasos salitrales y lagunas temporarias localizadas en concavidades del relieve.

Suelos. Los suelos de esta región (material parental arenoso-eólico); presentan un incipiente desarrollo genético, permeabilidad moderadamente lenta a muy rápida, drenaje moderado a excesivo y baja capacidad de retención a la humedad. Con excepción del centro-este del departamento Limay Mahuida y una franja de orientación NE-SO en el oriente de Chalileo, se han desarrollado Torripsamentes típicos. Estos tienen un perfil tipo C o AC-C, textura franca a arenosa y presentan material calcáreo diseminado en áreas intermedanosas y en adyacencias a los ríos Atuel y Chadileuvú. Pueden verse ocasionalmente salinizados, por oscilación del nivel freático en las márgenes de los cursos fluviales (fase ligeramente salina) (INTA *et al.*, 1980).

En la franja mencionada, el suelo posee un perfil tipo similar al anterior, un horizonte superficial más estructurado, abundante presencia de Ca_2CO_3 y textura más gruesa (franco-gruesa). El dominante ha sido clasificado como Torriortent ústico y los suelos menores asociados como Torripsamentes ústicos (INTA *et al.*, 1980). El sector del departamento Limay Mahuida localizado en las adyacencias del límite tripartito Utracán-Curacó-Lihuel Calel; manifiesta suelos con perfil tipo A-AC-C, textura arenosa a franco arenosa, con material calcáreo, variable tenor de sales dispuestas a diferentes profundidades y en ocasiones horizontes endurecidos. Sistemáticamente, el dominante es un Torriortent típico y el subordinado un Durortid típico (INTA *et al.*, 1980).

E) Peneplanicie de Lihuel Calel

Localización. Limita por el norte y noroeste con la Planicie medanosa, al oeste y suroeste con la Planicie de inundación actual y al este y sur con las Mesetas y depresiones. Su borde nororiental está representado por la isohieta de 500 mm. Se desarrolla principalmente en el departamento Lihuel Calel, extendiéndose hacia los sectores suroccidental y oriental de los contiguos departamentos Utracán y Curacó, respectivamente. Se adopta el nombre del epígrafe tomando como base a Ramos (1999), quién sostuvo que la región se mantuvo relativamente estable durante gran parte del Mesozoico y del Cenozoico, estando aún sometida a una intensa peneplanización.

Topografía y geoformas. Esta región se caracteriza por la alternancia de altos y bajos topográficos. Los sectores elevados se corresponden con afloramientos (Rimoldi y Silva Nieto, 1999) y con geoformas acumulativas arenosas más frecuentes en el sector noroccidental de la región. Las Sierras de Lihuel Calel se localizan en el noroeste del departamento homónimo y poseen alturas superiores a los 500 metros s.n.m., constituyendo las mayores elevaciones de la región. Esta unidad está constituida fundamentalmente por riolitas muy fracturadas, que sobresalen de la llanura circundante (Llambías y Leverato, 1975). Siguiendo el criterio de Bates y Jackson (1984), éstas elevaciones representarían *inselbergs* o *monadnocks*. En el sector centro-este de la región el relieve se encuentra

caracterizado por lomas suaves que no sobrepasan los 30 metros sobre el terreno circundante (Espejo y Silva Nieto, 1996).

La altimetría de la región disminuye hacia el este (siguiendo la pendiente regional), llegando a cotas de 100 metros s.n.m. en el límite con las Mesetas y depresiones. Los gradientes topográficos calculados entre las Sierras de Lihuel Calel-Establecimiento El Destino y las Sierras de Lihuel Calel-Salitral Levalle, son de 2,47 % y 1 %, respectivamente.

Sustrato. Los sedimentos superficiales más comunes son arenas finas y limosas que yacen sobre una plancha de tosca de 2 a 4 metros de espesor. Hacia el sector centro y sureste de la región, la potencia de los sedimentos superficiales disminuye, aflorando en las partes cóncavas del relieve, la capa calcárea (INTA *et al.*, 1980). Subyaciendo a las litologías mencionadas se encuentran rocas cristalinas localizadas muy someramente e incluso aflorantes, las cuales pertenecen mayoritariamente al Grupo Lihuel Calel (Espejo y Silva Nieto, 1996), equivalentes al Grupo Sierra Pintada (Criado Roqué, 1972a y b). Entre otros, Tullio (1981) y Malán (1981) hicieron explícita referencia a la presencia de una cubierta regolítica en la cima del basamento cristalino, conocida informalmente como Formación Lote 19.

La presencia de un elemento morfoestructural positivo de gran importancia (Sierras de Lihuel Calel), condicionó el accionar de los procesos fluviales. Según Espejo y Silva Nieto (1996), los arroyos que formaron la red hidrográfica con posterioridad al emplazamiento de las sierras, siguieron lineamientos estructurales de rumbo general NO-SE y NE-SO. Por último, una profusa actividad eólica cubrió de sedimentos el llano y los bajos.

Hidrografía. Las precipitaciones escurren a las lagunas y salitrales. Estos cuerpos de agua son de escasa superficie, con excepción del Salitral Levalle, ubicado inmediatamente al norte del Parque Nacional Lihuel Calel. Hacia el sureste, el drenaje adquiere aspecto dendrítico bien marcado. Debido a la ausencia de cursos fluviales permanentes y al escaso número de lagunas de extensión areal muy reducida y elevada salinidad, se presenta un marcado déficit de recursos hídricos superficiales en toda la región.

Suelos. El sector noroccidental de la región (noroeste del departamento Lihuel Calel y suroeste de Utracán) se caracteriza por la presencia de Torriortentes típicos; cuyos materiales parentales son arenas eólicas, de textura franco arenosa a areno franco. Los suelos poseen incipiente desarrollo genético, perfil tipo A1-AC-C, generalmente poco espesor, material calcáreo (diseminado y en masa) y clastos de cuarzo distribuidos erráticamente, rocosidad relativamente alta, permeabilidad rápida y drenaje excesivo. Cuando las rocas se encuentran a una profundidad inferior a 0,50 metros, los suelos se clasifican como Torriortentes líticos. En las pendientes se reconocen algunos Torripsamentes típicos en fase ligera a moderadamente inclinada y en los bajos hay suelos semejantes, pero en fase profunda. La presencia de depresiones topográficas donde se localizan lagunas en vías de desecación, inmediatamente al norte de las Sierras de Lihuel Calel; ha potenciado el desarrollo de suelos salinizados en mayor o menor grado. Estos se clasifican como Torripsamentes típicos en fases ligeramente inclinada y moderadamente salina, Torripsamentes líticos en fase salina y Salortides (INTA *et al.*, 1980).

En el sector suroeste de esta región, exclusivamente dentro del contexto del departamento Lihuel Calel, predominan suelos originados a partir de arenas eólicas que recubren un manto calcáreo endurecido, localizado antes del metro. Son suelos genéticamente poco evolucionados, que presentan un perfil tipo AC-tosca, pobres en

materia orgánica y con calcáreo pulverulento en todo el perfil. El dominante presenta tosca a una profundidad promedio de 0,50 metros y se clasifica como Paleortid ustólico; donde la cobertura arenosa se adelgaza hasta espesores próximos a los 0,20 metros, se clasifica como Paleortid típico. Por otra parte, en las vías de escurrimiento, localizadas entre áreas de mayor elevación, se desarrollaron suelos originados a partir de los mismos materiales parentales, a los que se adicionan derrubios coluviales. En las pendientes de las vías de escurrimiento, se dan Paleortides (típicos y líticos) en fase por pendiente y en las áreas bajas se dan suelos salinos (Salortides) o con un horizonte endurecido antes del metro (Durortides) (INTA *et al.*, 1980).

F) Mesetas y depresiones

Localización. Se encuentra en el extremo sureste de la provincia, abarcando el sector meridional del departamento Caleu Caleu y las porciones este y sur de Lihuel Calel. Limita al sur con el río Colorado, al norte con la isolínea de 500 mm de precipitación media anual, al este con la provincia de Buenos Aires y al oeste con la Peneplanicie de Lihuel Calel y el Sistema fluvial.

Topografía y geoformas. Las depresiones rodeadas por sectores mesetiformes y conectados a ellos por medio de barrancas, conforman el relieve típico de la región. Las mesetas se encuentran a una altitud promedio de 150 metros s.n.m. y, las depresiones suelen ubicarse por debajo del nivel de referencia. Los gradientes topográficos calculados entre las mesetas y el fondo de las depresiones son: 2,42 % para Salina El Chancho, 1,97 % para el Salitral Don Tomás y 0,88 % para el Salitral Negro. Como resultado del marcado contraste altimétrico y lluvias relativamente abundantes, se han labrado cañadones en las barrancas (Calmels, 1996), por los cuales escurren las lluvias hacia los sectores deprimidos del terreno. Buteler (1981) vinculó la génesis de algunas depresiones a fallas en el basamento. Mas allá del control estructural propuesto por este autor, INTA *et al.* (1980) y Calmels (1996) hicieron explícita referencia a la presencia de una paleo-red hidrográfica con drenaje hacia el océano Atlántico, aunque no aportaron datos acerca de su edad.

Sustrato. Las mesetas se encuentran cubiertas por una capa arenosa con rodados de vulcanitas diseminados en su masa; su espesor oscila alrededor del metro. Debajo de estos sedimentos, se presenta una costra calcárea de 0,50 metros de potencia, la misma sepulta arenas con interestratificaciones pelíticas que corresponden a la Formación Río Negro (Linares *et al.*, 1980; Calmels *et al.*, 2002). En las depresiones, los sedimentos que rodean a los salitrales son de origen coluvial y tienen textura limosa, con grandes concentraciones de sales (INTA *et al.*, 1980). En esta región predominaron y predominan los procesos hídricos (con formación de barrancas y cañadones superimpuestos) sobre los eólicos (génesis de la cubierta superficial arenosa).

Hidrografía. El drenaje de la región está compuesto por cursos intermitentes, que actúan como colectores pluviales de las precipitaciones ocurridas en los sectores más elevados, para converger en sectores deprimidos y formar lagunas temporales (la mayoría sin nombre), salitrales (Negro, del 8, del 6 y 10, de La Gotera) y salinas (Salinas Grandes de Anzoategui, Salina El Chancho). Sin embargo, Deladino (2000) y UNLPam (2001) mencionaron que la alimentación de los recursos hídricos superficiales se debe, por lo menos en parte, al aporte subterráneo (sectores de descarga). Estas lagunas, salinas y salitrales no tienen comunicación superficial entre sí y constituyen pequeñas áreas arreicas. La génesis de las salmueras sería el resultado del carácter endorreico, el flujo radial convergente y la evolución tectónica y estratigráfica de la región (UNLPam, 2001). Los

elevados contenidos salinos y las especies químicas presentes, hacen posible en la actualidad una explotación extractiva de varios cuerpos de agua.

Suelos. Los sectores mesetiformes planos desarrollaron suelos a partir de arenas eólicas, de textura franco arenosa muy fina y portadoras de rodados volcánicos, que yacen sobre tosca. Estos suelos tienen un perfil tipo A1-AC, permeabilidad moderada a rápida, drenaje excesivo a bueno y calcáreo en todo el perfil. El dominante ha sido clasificado "tentativamente" como Calciustol petrocálcico, aunque suelen darse Haplustoles énticos y arídicos como suelos menores. Cuando las mesetas manifiestan un paisaje ondulado, los suelos han sido desarrollados a partir de materiales parentales arenosos de granulometría variable y sus coluvios. Poseen permeabilidad rápida y drenaje algo excesivo a excesivo. En las lomas o llanos altos se encuentran Calciustoles petrocálcicos y Haplustoles énticos, en las pendientes existen Torripsamentes ústicos en fase inclinada y Haplustoles énticos; en los bajos se presentan Torripsamentes ústicos y Salortides (INTA *et al.*, 1980).

Las pendientes que conectan las mesetas y los bajos poseen suelos poco evolucionados, perfil tipo A1-AC-C1, textura arenosa y gran contenido de calcáreo. Fueron clasificados como Ustortentes típicos y se reconocen fases por pendiente, de moderada a fuertemente inclinada. En las depresiones se presentan suelos excesivamente salinos (Salortides) y próximos a afloramientos rocosos hay Ortentes portadores de gravilla (INTA *et al.*, 1980).

Hidrogeología

A) Planicie de Chical Co

Generalidades. El basamento hidrogeológico está constituido por las plutonitas de la Formación Piedras de Afilar, las suprayacentes arenitas de la Formación Agua Escondida y los intrusivos del Grupo Sierra Pintada. Cubriendo a todas ellas se encuentran los sedimentos de la Formación Gran Salitral. Estas sedimentitas, aunque de características acuitardas y acuicludas según la zona, alojan mayoritariamente las aguas subterráneas de la región (Deladino, 2000). Las rocas volcánicas de la Formación Morado Alto, aflorantes en el ámbito noroccidental del departamento Chical Co, pueden localmente, ser rocas contenedoras (Malán, 1981). Por último, una cubierta de sedimentos predominantemente arenosos cubre la región (INTA *et al.*, 1980; Rimoldi y Silva Nieto, 1999), con buenas condiciones para la infiltración. La **Tabla 8** resume la estratigrafía de la región y el comportamiento hidrogeológico de las unidades.

Tabla 8. Estratigrafía y comportamiento hidrogeológico de las unidades de la Planicie de Chical Co.

UNIDAD	LITOLOGÍA	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Sedimentos superficiales	Arenas, rodados y limos	?
Formación Morado Alto	Basaltos	Acuífero
Formación Gran Salitral	Areniscas líticas, limos, arcilitas y calizas	Acuitardo-acuicludo
Grupo Sierra Pintada	Granitos, andesitas, lavas, brechas andesíticas, riolitas, dacitas y tobas	Basamento hidrogeológico
Formación Agua Escondida	Arenitas, arenitas conglomerádicas y limolitas cuarzosas	Basamento hidrogeológico
Formación Piedras de Afilar	Granitos	Basamento hidrogeológico

La profundidad del agua varía desde pocos metros en el sector occidental hasta más de 60 metros en cercanías del talud de la barda (Malán, 1981). Hacia el oeste la columna acuífera se adelgaza (Deladino, 2002), probablemente debido a la presencia de rocas del basamento a escasa profundidad. En el extremo noroeste de la provincia se presentan manantiales (Alvarellos de Lell y Hernández, 1982), los cuales constituirían una zona de descarga local del almacén que representan las rocas volcánicas y los materiales aluvionales que rellenan las depresiones entre sus afloramientos. Las obras de captación consisten generalmente de pozos cavados, sin calzar y sin ningún tipo de construcción que evite su embanque (Malán, 1981).

Hidráulica. La naturaleza predominantemente fangosa de la Formación Gran Salitral, determina una baja permeabilidad y por lo tanto la posibilidad de obtener caudales muy bajos mediante la construcción de pozos de gran diámetro (Malán, 1981). Los caudales posibles de obtener son menores a 3.000 $l.h^{-1}$ (Deladino, 2000). Se trata, en general, de una zona de conducción, en la cual el escurrimiento regional tiene dirección NO-SE, en concordancia con la pendiente regional. La principal zona de recarga se encuentra en la región serrana occidental (provincia de Mendoza) y, localmente, en las suaves depresiones topográficas (Malán, 1978).

Hidroquímica. Deladino (2000) mencionó contenidos salinos menores a 2 $g.l^{-1}$ en la parte occidental y un aumento del mismo hacia el este, hasta alcanzar valores de 8 $g.l^{-1}$. Según este mismo autor, el agua varía de sulfatada/magnésico-cálcica a clorurada/sódica desde zonas de conducción a zonas de descarga local.

B) Planicie basáltica

Generalidades. Las rocas del Grupo Sierra Pintada constituyen el basamento hidrogeológico del sector. Además, la unidad suprayacente denominada Formación Roca, junto con la Formación El Fresco, conforman un hidroapoyo para los fenómenos hidrológicos relacionados con la reciente dinámica del agua subterránea y sus manifestaciones superficiales (Bisceglia, 1977; Malán *et al.*, 1998). Los basaltos de la Formación El Mollar representan la unidad acuífera predominante, la cual además otorga un sello geomorfológico que caracteriza y da nombre al ambiente (Malán *et al.*, 1998). Los depósitos arenosos eólicos actuales, presentan una ubicación relativa con respecto a los principales puntos de efluencia (manantiales), que resulta llamativa por su posible incidencia en la hidrología subterránea de estas áreas. Se resume la estratigrafía y el comportamiento hidrogeológico de las unidades de la región en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Estratigrafía y comportamiento hidrogeológico de las unidades de la Planicie Basáltica.

UNIDAD	LITOLOGÍA	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Sedimentos superficiales	Arenas, limos y arcillas	?
Formación El Mollar	Basaltos	Acuífero
Formación El Fresco	Pelitas, tobas, chonitas, calizas, areniscas, cineritas y tufitas	Hidroapoyo
Formación Roca	Calizas y areniscas híbridas	Hidroapoyo
Grupo Sierra Pintada	Granitos, andesitas, lavas, brechas andesíticas, riolitas, dacitas y tobas	Basamento hidrogeológico

Sólo se conoce con certeza la profundidad del agua en la zona de Chos Malal, donde se encuentra de 1 a 3 metros (Deladino, 2000). Generalmente, el aprovechamiento de los recursos hídricos en esta región está restringido a los manantiales (Malán, 1981). Merece señalarse el aprovechamiento que se hace del manantial Puelén, a través de un acueducto construido por el Gobierno de La Pampa para proveer de agua potable a las localidades de La Reforma, Chacharramendi y Puelches. En la zona de Chos Malal, Deladino (2000) mencionó la existencia de pozos cavados en pequeñas depresiones topográficas, aunque estos tienen escasa profundidad porque en su fondo se hallan rocas acuífugas.

Hidráulica. La recarga se relaciona con los volúmenes aportados por la precipitaciones y desde sectores ubicados al oeste de la región (provincia de Mendoza). Los caudales posibles solamente se conocen para la zona de Chos Malal, donde oscilan en torno a 7.000 $l.h^{-1}$ (Deladino, 2000). En algunos casos el flujo subterráneo de este sector muestra un evidente control del paleo-relieve que subyace a los basaltos, incrementándose donde la sección de escurrimiento disminuye y formando manantiales en los casos que alcance valores piezométricos superiores a la topografía (Malán, 1981; Malán *et al.*, 1998).

Hidroquímica. La calidad físico-química del agua contenida en las rocas volcánicas puede considerarse aceptable. Bojanich Marcovich (1978) mencionó un deterioro de la misma de O a E y de N a S. Malán (1981) comentó que los valores de salinidad oscilan variablemente entre 2 y 2,5 $g.l^{-1}$ y, el carácter geoquímico de las aguas es clorurada-sulfatadas/sódicas a clorurada-sulfatada-bicarbonatadas/sódicas. Luego, Deladino (2000) extendió el límite superior del tenor salino de la región a 4,7 $g.l^{-1}$, para la zona de Chos Malal. Uliana y Camacho (1975) e INTA *et al.* (1980) identificaron capas de yeso en los materiales superficiales de la región, lo que podría relacionarse a la presencia de $SO_4^{=}$ en las aguas subterráneas.

C) Paleoabanico del río Colorado

Generalidades. Desde el punto de vista hidrogeológico constituye una de las regiones sobre la cual se tiene menos conocimiento y a su vez el aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos es muy reducido (Malán, 1981). El basamento hidrogeológico está constituido por las rocas del Grupo Sierra Pintada o del Grupo Lihuel Calel. En esta región existen dos tipos de acuífero: el freático, alojado en los sedimentos permeables ubicados en los paleocauces (Formación El Sauzal) y, el confinado, contenido en los niveles más arenosos de los sedimentos asignados a la Formación Río Negro (Deladino, 2000). La **Tabla 10** sintetiza la estratigrafía y el comportamiento hidrogeológico de las unidades de la región.

Tabla 10. Estratigrafía y comportamiento hidrogeológico de las unidades del Paleoabanico del río Colorado.

UNIDAD	LITOLOGÍA	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Formación El Sauzal	Areniscas líticas gruesas, limos arenosos y conglomerados	Acuífero
Formación Tehuelche	Conglomerados con matriz arenosa, cementados por calcáreo	Acuicludo?
Formación Río Negro	Areniscas, areniscas limosas, areniscas tobáceas y limos arenosos	Acuífero
Grupo Sierra Pintada o Grupo Lihuel Calel	Granitos, andesitas, lavas, brechas andesíticas, riolitas, dacitas y tobas	Basamento hidrogeológico

El nivel freático está fuertemente influenciado por la geomorfología y las precipitaciones (Bisceglia, 1977), oscilando generalmente entre los 10 y los 24 metros (Deladino, 2000). La profundidad del agua disminuye hacia el sur, probablemente debido al carácter influente del río Colorado. En tanto, el acuífero confinado se encuentra a una profundidad de 20 a 70 metros, con una tendencia a disminuir hacia el este (Deladino, 2000).

Hidráulica. Si bien los caudales del acuífero freático son pobres y se agotan rápidamente (Deladino, 2000), no se sabe en la actualidad los valores de sus módulos. El delgado espesor acuífero, que ronda alrededor del metro (Malán, 1981), representaría el principal impedimento para mantener constancia en los mismos.

Para el acuífero confinado se conocen caudales de 900 a 7.000 $l.h^{-1}$ (Deladino, 2000). Espejo y Silva Nieto (1996) mencionaron que los rodados de vulcanitas cementados por material calcáreo, que tapizan las terrazas, presentan muy baja permeabilidad e impiden la circulación de las aguas meteóricas (acuicludo?).

Hidroquímica. La salinidad de toda la región es muy alta (Malán, 1981). El tenor salino del acuífero freático es de poco menos que 7 $g.l^{-1}$ (Bisceglia, 1977) y el tipo químico de aguas es clorurada/sódica (Deladino, 2000).

El acuífero confinado manifiesta salinidades superiores a 10 o 15 $g.l^{-1}$ y un tipo químico de aguas netamente clorurada/sódica (Deladino, 2000). Las sedimentitas de la Formación Río Negro podrían constituir buenos acuíferos por su litología; sin embargo, la existencia de gran cantidad de yeso hace que las aguas posean altos contenidos de $SO_4^=$ (Espejo y Silva Nieto, 1996). Además, la naturaleza del cemento de los rodados de vulcanitas determinaría, por contacto, aguas de elevado contenido salino.

D) Sistema fluvial del Atuel-Salado-Chadileuvú-Curacó

D1) Planicie de inundación actual

Generalidades. Desde los 36º S hasta la latitud de La Reforma aproximadamente, el basamento hidrogeológico está constituido por el plutón Las Matras, la Formación San Jorge, la Formación Agua Escondida y los intrusivos del Grupo Sierra Pintada. Más al sur, el basamento hidrogeológico se encuentra representado por las rocas de la Formación Carapacha y las intrusiones que soporta (Grupo Lihuel Calel) (Deladino, 2000).

Las adyacencias del talud de erosión o barda, geoforma que marca el límite entre la Planicie de Chical Co y el Sistema fluvial, cuenta con recursos hídricos subterráneos contenidos en la Formación Punta de La Barda (Malán, 1981), equivalente a la Formación Gran Salitral. La profundidad del agua supera los 100 metros, pasando en los sectores de gradiente más suave a profundidades que oscilan alrededor de los 20 metros, con mínimos de 10 metros en la franja de pasaje a la llanura aluvial (Deladino, 2002).

En la planicie aluvial, los acuíferos se alojan principalmente en la Formación Santa Isabel y en menor medida en el Pampeano (Malán, 1981). Deladino (2000) se refirió a los sedimentos asignados al Pampeano por Malán (1981) como Formación Gran Salitral. La profundidad generalmente varía entre 1 y 7 metros, aunque cerca de los cauces puede ser de unos pocos decímetros (Deladino, 2002). Este ascenso de la superficie freática en las proximidades de los cursos fluviales activos, indicaría el carácter influente temporal de los

mismos. Tullio (1992) mencionó una segunda capa acuífera en el área de Limay Mahuida a partir de los 7 metros de profundidad contenida en la Formación Gran Salitral, que se correspondería con el Pampeano de Malán (1981). Por otra parte, Espejo y Silva Nieto (1996) mencionaron que en la zona de lagunas de Puelches, los sedimentos acuíferos pertenecen a la Formación Puesto Alí. La cubierta arenosa, superimpuesta a los sedimentos aluviales del Atuel-Salado, representan los únicos lugares con perspectivas geohidrológicas favorables (Malán, 1981; Deladino, 2000). Esta cubierta arenosa se corresponde con la Formación Junín. La **Tabla 11** resume la hidroestratigrafía de la región.

Tabla 11. Estratigrafía y comportamiento hidrogeológico de las unidades de la Planicie de inundación actual.

UNIDAD	LITOLOGÍA	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Formación Junín	Arenas finas y medianas (eólicas)	Acuífero
Formación Santa Isabel	Arenas (aluviales)	Acuífero
Formación Puesto Alí	Limos, arcillas y rodados de vulcanitas	Acuífero
Formación Gran Salitral	Areniscas líticas, limos, arcilitas y calizas	Acuitardo
Grupo Sierra Pintada o Grupo Lihuel Calel	Granitos, andesitas, lavas, brechas andesíticas, riolitas, dacitas y tobas	Basamento hidrogeológico
Formación Agua Escondida	Arenitas, arenitas conglomerádicas y limolitas cuarzosas	Basamento hidrogeológico
Formación San Jorge	Calizas estratificadas micríticas con estructuras microbialíticas	Basamento hidrogeológico
Plutón Las Matras	Tonalitas y trondhjemitas	Basamento hidrogeológico

Las obras de captación son pozos cavados con pocos metros de penetración en el horizonte acuífero; ello obedece al desmejoramiento de la calidad del agua con la profundidad, al carácter fuertemente acuitardo de las formaciones y a factores socioeconómicos (Malán, 1981).

Hidráulica. El sector de mayor gradiente topográfico (pendiente del Atuel) se alimenta principalmente por conducción desde la Planicie de Chical Co; con un sentido de escurrimiento O-E a ligeramente NO-SE, en concordancia con la pendiente regional. Se extraen caudales muy bajos, entre 300 y 1.500 $l.h^{-1}$, e incluso los pozos llegan a agotarse con estos regímenes (Malán, 1981).

La llanura aluvial se caracteriza por ser una zona de descarga regional (Deladino, 2000); esporádicamente anegada, en función del manejo de los ríos Atuel-Salado y sus afluentes que realizan las provincias aguas arriba y de la situación hidrológica de las cuencas. La dirección de escurrimiento es N-S. En general, los caudales posibles no sobrepasan los 1.000 $l.h^{-1}$ debido al carácter fuertemente acuitardo de los sedimentos y, en algunos casos, a expensas de la depresión total del espesor acuífero (Malán, 1981).

Los aportes hídricos de esta región no se limitan a las precipitaciones pluviales y al flujo subterráneo, sino que existe también un volumen de agua superficial que proviene de los ríos que integran la cuenca del Desaguadero (Bojanich Marcovich, 1978; Malán, 1991). La falta de permanencia en los caudales o la reducción de los mismos a mínimos muy bajos, por intervención antrópica aguas arriba, reduce la recarga natural de los acuíferos.

Hidroquímica. En términos generales la salinidad aumenta y, en algunos casos en forma considerable, a medida que se profundiza en el acuífero (Malán, 1981). Los niveles someros de la capa acuífera tienen residuo seco de 2 a 8 $g.l^{-1}$, aumentando en forma directamente proporcional a la profundidad hasta alcanzar valores de 15 $g.l^{-1}$ (Deladino, 2000). Los análisis físico-químicos realizados por Bojanich Marcovich (1978) en Santa Isabel, Paso de los Algarrobos y Limay Mahuida muestran que las aguas son principalmente sulfatadas/sódico-cálcicas y, en menor medida, cloruradas/sódicas (típicas de zonas de descarga). El gran contenido de $SO_4^=$ podría deberse a la presencia de yeso en los sedimentos aluviales, detectados en las perforaciones realizadas por Bojanich Marcovich (1978) en la llanura aluvial.

D2) Planicie medanosa

Generalidades. El basamento hidrogeológico de la región está compuesto por distintos tipos de rocas (Formación Arata o Telén, Grupo Sierra Pintada, entre otras) que fueron reconocidas mediante prospección geofísica y pozos exploratorios (Deladino, 2000). En el presente trabajo se utiliza la denominación informal de Formación Preterciaria, para referirse a las rocas que pertenecen al basamento hidrogeológico, criterio utilizado también por Deladino (2000). Los horizontes acuíferos se encuentran en los sedimentos de las Formaciones Santa Isabel y Junín (Meaucó), hacia el oeste, y de la Formación Cerro Azul hacia el este (Malán, 1981). Desde el punto de vista hidrogeológico, los materiales arenosos superficiales son potencialmente favorables para la infiltración y, por ende, para la alimentación de los recursos hídricos subterráneos (Terraza *et al.*, 1981 y 1982). La **Tabla 12** resume la hidroestratigrafía de la región.

Tabla 12. Estratigrafía y comportamiento hidrogeológico de las unidades de la Planicie medanosa.

UNIDAD	LITOLOGÍA	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Formación Junín	Arenas finas y medianas (eólicas)	Acuífero
Formación Santa Isabel	Arenas (aluviales)	Acuífero
Formación Cerro Azul	Limos, areniscas líticas, calcrete	Acuífero
Formación Preterciaria	Rocas magmáticas, metamórficas y sedimentitas	Basamento hidrogeológico

La profundidad del agua se incrementa hacia el este (Giai, 1986), desde pocos metros en el límite con la Planicie de inundación actual, hasta más de 80 metros al este de La Pastoril (Deladino, 2000 y 2002) (**Tabla 13**).

Tabla 13. Profundidades, caudales y salinidades de distintos pozos en el ámbito de la Planicie medanosa. Tomado de Deladino (2000).

LOCALIDAD	PROFUNDIDAD (m)	CAUDAL ($l.h^{-1}$)	SALINIDAD ($g.l^{-1}$)
Paso de Los Algarrobos	1,2 a 7	300 a 15.000	3 a 5
Limay Mahuida-Chacharramendi	16 a 20	300 a 4.170	6 a 20
Árbol Solo	30 a 40	12.000 a 24000	2 a 6
La Pastoril	56	4.600	3 a 5

Para el aprovechamiento de estos acuíferos los pobladores recurren a la construcción de pozos cavados, en general, utilizando a su vez elementos precarios de extracción (Malán, 1981).

Hidráulica. En general, la Planicie medanosa presenta caudales pobres, excepto las inmediaciones de Puesto Árbol Solo (**Tabla 13**). La gran variabilidad que muestran los caudales estaría relacionada a la presencia de niveles acuitardos y acuicludos discontinuos, intercalados en los espesores acuíferos. Al este de la isolínea de 500 mm de precipitación media anual, en la zona del Meaucó, Giai (1974) reconoció capas arcillosas intercaladas en la Formación Meaucó, que podrían desarrollarse localmente en el subsuelo de la región en cuestión, determinando bajos caudales.

Hidroquímica. Se encuentran contenidos salinos moderados a elevados (**Tabla 13**); aunque la región medanosa próxima al Salado-Chadileuvú presenta acuíferos de buena calidad y escasa potencia, en relación a su vez con el tamaño de las geoformas acumulativas eólicas desprovistas de vegetación (Malán, 1981). Las áreas de baja salinidad son pequeñas y restringidas, por tratarse de zonas de recarga local (Malán y Schulz, 1989). Deladino (2000) caracterizó geoquímicamente las aguas de La Pastoril y Cnia. Emilio Mitre como cloruradas/sódicas y concluyó que se tratan de aguas muy evolucionadas, típicas de zonas de descarga. Por otra parte, a lo largo de la Ruta Provincial Nº 143 encontró los siguientes tipos químicos de agua: sulfatada/magnésico-sódica, sulfatada-clorurada/magnésico-sódica, clorurada-sulfatada/sódica y dorurada/ sódica. Las aguas donde predomina el anión $SO_4^=$ representarían zonas de conducción y, aquellas en las cuales predomina el anión Cl^- corresponderían a zonas de descarga.

E) Peneplanicie de Lihuel Calel

Generalidades. En el sector occidental, las rocas del Grupo Sierra Pintada (Criado Roqué, 1972a y b) o Grupo Lihuel Calel (Espejo y Silva Nieto, 1996) representan el basamento hidrogeológico de la región. Hacia el este, las metamorfitas y pegmatitas asociadas identificadas por Llambías (1975), quien las denominó informalmente Basamento Cristalino, constituyen el basamento hidrogeológico del sector (Deladino, 2000). Puede decirse, en términos generales, que no existe un acuífero freático propiamente dicho en esta región (Tullio, 1981). El agua se encuentra, en general, en el basamento alterado (Formación Lote 19) y, en menor medida, en los sedimentos arenosos y limosos suprayacentes. Las áreas donde afloran plutonitas inalteradas carecen totalmente de aguas subterráneas (Deladino, 2000). El calcrete, localizado entre los sedimentos eólicos y el basamento, representaría un impedimento para la dinámica del agua meteórica. La **Tabla 14** resume la estratigrafía y el comportamiento hidrogeológico de las unidades de la región.

Tabla 14. Estratigrafía y comportamiento hidrogeológico de las unidades de la Peneplanicie de Lihuel Calel.

UNIDAD	LITOLOGÍA	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Depósitos eólicos	Arenas finas y limosas	Acuífero?
Formación Lote 19	Regolito granítico y metamórfico	Acuífero?
Grupo Sierra Pintada o Grupo Lihuel Calel	Granitos, andesitas, lavas, brechas andesíticas, riolitas, dacitas y tobas	Basamento hidrogeológico
Basamento cristalino	Metamorfitas y pegmatitas	Basamento hidrogeológico

El triángulo ubicado aproximadamente entre El Carancho, La Reforma y Lihuel Calel presenta agudos problemas en materia de agua subterránea debido a la falta y/o escasa potencia de una cubierta sedimentaria y a la presencia de basamento aflorante o a escasa profundidad (Dorsal Pampeana Central). Esta zona se podría considerar como la más deficitaria en materia hidrogeológica de la provincia. Solamente las adyacencias de las Sierras de Lihuel Calel y de la localidad de Cuchillo Có manifiestan sectores con buenas características acuíferas, favorecidas por la infiltración en grietas (Malán, 1981) y la morfología cubetiforme del basamento y la topografía. El espesor acuífero se encuentra limitado por la escasa profundidad a que se hallan las rocas acuífugas (Deladino, 2000) y estaría fuertemente influenciado por el grado de fracturación de las mismas y las precipitaciones. La profundidad del agua es variable pero, en general, es menor a 20 metros (Malán, 1981). Los recursos hídricos subterráneos son poco explotados; captándose las avenidas pluviales mediante tajamares (Malán, 1981), los que a su vez favorecen la recarga de los acuíferos alojados en el basamento alterado y en la delgada cobertura sedimentaria.

Hidráulica. Al oeste de Cuchillo Có se ha desarrollado una planicie de orientación NE-SO, que actúa como zona de recarga y divisoria de aguas, con flujo radial divergente y tres direcciones principales de escurrimiento: hacia el oeste, hacia el sudeste (cuenca de la Blanca Grande) y hacia el noreste (cuenca de la Colorada Grande) (Deladino, 2000). Según este esquema morfoestructural, la región se alimenta principalmente por conducción a partir de la divisoria de aguas (planicie) y, en menor medida, desde las lomadas y serranías típicas de la zona. Giai (1986), reconoció que la morfología de la capa freática responde a la configuración del basamento técnico, presente a escasa profundidad en casi toda la extensión de la región. Los caudales posibles de obtener son de 6.000 $l.h^{-1}$ (Castro, 1988). No obstante, la extracción con estos regímenes por tiempos prolongados, estaría muy limitada por la escasa profundidad a que se halla el basamento y el delgado espesor acuífero.

Hidroquímica. Se conocen tenores salinos moderados a altos: de 2 a 10 $g.l^{-1}$ y un quimismo muy variado (Deladino, 2000). En tanto, la mencionada divisoria de aguas presenta contenidos salinos menores a 2 $g.l^{-1}$, a la vez que las relaciones de las especies químicas encontradas son también muy variables (Castro, 1988).

F) Mesetas y depresiones

Generalidades. El basamento hidrogeológico se encuentra constituido por rocas ígneas y metamórficas (Deladino, 2000), referidas en el presente trabajo como Basamento Precretácico, siguiendo la denominación utilizada por Bonorino *et al.* (1989) para la Cuenca del Arroyo Chasicó, en el sudeste de Buenos Aires. Por encima, se encuentran los tramos finales del relleno de la Cuenca del Colorado (Formaciones Ombucta y Barranca Final) (Deladino, 2000), que manifiestan características acuíferas, acuitardas y acuicludas en diferentes posiciones de la columna litológica (Bonorino *et al.*, 1989). Malán (1981) comentó que las aguas subterráneas se alojan, principalmente, en el suprayacente Chasicoense-Rionegrense (Formaciones Chasicó y Río Negro). Encima de las unidades acuíferas se encuentran, cubriendo una gran parte de la región, arenas con rodados de vulcanitas (Calmels *et al.*, 2002). En los sectores medanosos se detectan acuíferos libres de buena calidad aunque de reducido espesor (Deladino, 2000). La **Tabla 15** resume la hidroestratigrafía de la región.

Tabla 15. Estratigrafía y comportamiento hidrogeológico de las unidades de las Mesetas y depresiones.

UNIDAD	LITOLOGÍA	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Depósitos eólicos	Arenas con rodados de vulcanitas	Acuífero
Formación Río Negro	Areniscas, areniscas limosas, areniscas tobáceas y limos arcillosos	Acuífero
Formación Chasicó	Limos loessoides arcillosos y arenosos con calcretes	Acuífero
Formación Barranca Final	Arcilitas, con yeso, restos carbonosos e intercalaciones tobáceas	Acuífero y acuicludo
Formación Ombucta	Arcilitas y tobas, con intercalaciones de areniscas y yeso	Acuífero y acuitardo
Basamento Precretácico	Metamorfitas e intrusivas ácidas	Basamento hidrogeológico

Malán (1981) detectó la presencia de agua a profundidades que oscilan de 50 a 70 metros en los sectores mesetiformes. En tanto, en las depresiones su profundidad es escasa e incluso aflora, dando lugar a numerosas lagunas temporarias, salitrales y salinas de importancia económica, debido a su carácter efluente y la intensa concentración de sales por evaporación. Generalmente, la captación de los recursos hídricos subterráneos se realiza mediante perforaciones, utilizando energía eólica y, en menor medida, eléctrica.

Hidráulica. Las depresiones actúan como áreas de descarga regional, con escurrimiento radial convergente (Deladino, 2000) y, las mesetas, principalmente aquellas con cubierta psamítica, actuarían como sitios de recarga y presentarían una red de flujo radial divergente. El gran contenido de material pelítico de las unidades acuíferas (Linares *et al.*, 1980) determinaría, en general, permeabilidades y transmisividades bajas y por lo tanto caudales pobres. Los caudales posibles de obtener en el borde oriental de la laguna Colorada Grande, al norte de la isolínea de 500 mm de precipitación media anual, son menores a 4.000 $l.h^{-1}$ (Malán, 1986).

Hidroquímica. Generalmente, las depresiones presentan salinidad de 6 a 10 $g.l^{-1}$, manifestando un aumento de la misma con la profundidad; en tanto que las planicies poseen contenidos salinos menores a 2 $g.l^{-1}$, incrementándose ligeramente hacia el oeste (Deladino, 2000). Los diagramas hidroquímicos muestran que el carácter geoquímico de las aguas es concordante con los típicamente esperables en sitios de recarga (mesetas) y descarga (bajos) (Giai, 1986).

Potencial y necesidad de captación y almacenamiento de agua pluvial

Utilizando el esquema teórico propuesto, se valoró el potencial de captación y almacenamiento de agua pluvial, así como la necesidad de contar con recursos hídricos alternativos, en las diferentes regiones geomorfológicas identificadas. En la **Tabla 16**, se exhiben los valores estimados de los factores físicos considerados, las medias aritméticas de aquellos que resumen el potencial de captación (aptitud promedio) y necesidad (necesidad promedio) de agua pluvial. La **Tabla 17** contrasta los promedios, los resultados de la calificación adoptada (de I a VII) y la condición media de cada región. El **Mapa 3** muestra la calificación obtenida, según la aptitud y necesidad de captación de agua pluvial, para cada una de las regiones.

Tabla 16. A) Potencial de captación y almacenamiento de agua pluvial (aptitud promedio); **B)** Necesidad de recursos hídricos alternativos (necesidad promedio), en el ámbito de las diferentes regiones geomorfológicas del oeste y sur pampeano.

A)

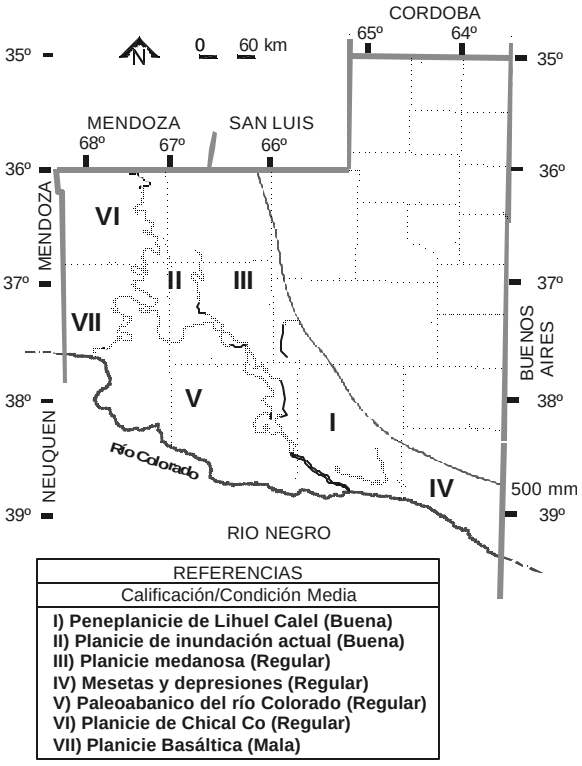
Región	Precipitaciones	Topografía	Permeabilidad	Drenaje	Sustrato	Aptitud promedio
Planicie de Chical Co	1,5	1	2	1	2	1,5
Planicie Basáltica	1	1	3	3	3	2,2
Paleoabanico del río Colorado	2	2	3,5	2	2	2,3
Planicie de inundación actual	2,5	1	3,5	3,5	3	2,7
Planicie medanosa	4	1	2,5	2	3	2,5
Peneplanicie de Lihuel Calel	4,5	3	2	1	4,5	3
Mesetas y depresiones	5	3	2,5	2	2	2,9

B)

Región	Caudal (aguas sup.)	Sal (aguas sup.)	Caudal (acuíferos)	Sal (acuíferos)	Necesidad promedio
Planicie de Chical Co	4	1	5	1	2,75
Planicie Basáltica	1	1	3	1	1,5
Paleoabanico del río Colorado	1	1	3	3	2
Planicie de inundación actual	2	4	5	3	3,5
Planicie medanosa	5	-	1	1	2,33
Peneplanicie de Lihuel Calel	5	-	5	1,5	3,83
Mesetas y depresiones	1	1	3	1,5	1,62

Tabla 17. Aptitud promedio, necesidad promedio, promedio general, clasificación y condición media de las regiones geomorfológicas del oeste y sur de La Pampa; según el potencial de captación y almacenamiento de agua meteórica.

Región	Aptitud	Necesidad	Promedio general	Calificación	Condición media
Peneplanicie de Lihuel Calel	3	3,83	3,312	I	Buena
Planicie de inundación actual	2,7	3,5	3,055	II	Buena
Planicie medanosa	2,5	2,33	2,437	III	Regular
Mesetas y depresiones	2,9	1,62	2,333	IV	Regular
Paleoabanico del río Colorado	2,3	2	2,166	V	Regular
Planicie de Chical Co	1,5	2,75	2,055	VI	Regular
Planicie Basáltica	2,2	1,5	1,888	VII	Mala



Mapa 3. Aptitud y necesidad de captación de agua pluvial.

Peneplanicie de Lihuel Calel (I)

Las precipitaciones medias anuales varían desde 500 mm en el sector oriental a 375 mm, aproximadamente, en el sector suroccidental. Desde el punto de vista climático, esta región presenta muy buenas posibilidades de captación, solamente equiparables a las Regiones III y IV. Sin embargo, se diferencia de ellas por presentar mayor necesidad de neofuentes hídricas y un potencial de captación superior.

La ausencia de recursos hídricos superficiales y subterráneos importantes, tanto en volumen como calidad (Malán, 1981; Tullio, 1981; Castro, 1988; Deladino, 2000), hace que cobre importancia la captación y almacenamiento de agua meteórica como una fuente alternativa del recurso.

El relieve, constituido por una alternancia de lomas y bajos (INTA *et al.*, 1980; Calmels, 1996), define una serie de cuencas de morfología y tamaño variable, que captarían las precipitaciones ocurridas en los sectores positivos y aún en sus flancos. Deberían utilizarse aquellas delimitadas por afloramientos y evitarse las que se encuentran rodeadas de médanos.

En relación a otras regiones, los valores medios estimados de permeabilidad del suelo y drenaje, se presentan como los factores más limitantes. Sin embargo, en el sureste de la región, donde predominan Aridisoles con una capa de tosca poco profunda (INTA *et al.*, 1980), la infiltración se vería retardada y por ende la eficiencia de captación y almacenamiento aumentarían. La magnitud del retardo dependería del grado de fracturamiento de la tosca. Este efecto de barrera o pantalla provocado por el calcrete,

estaría vinculado con la génesis de los wadis y el diseño de drenaje dendrítico. Las condiciones aflorantes y subaflorantes del basamento hidrogeológico (Malán, 1981; Espejo y Silva Nieto, 1996; Rimoldi y Silva Nieto, 1999; Deladino, 2000) potenciarían el desarrollo de los cursos efímeros. Es más, éstos cauces esporádicos podrían utilizarse para conducir el agua desde las cabeceras (parte alta del talud) hasta los colectores pluviales (centro de cuenca).

Hacia el noroeste dominan Entisoles arenosos, en ocasiones salinos, con drenajes y permeabilidades poco favorables para la colección y almacenamiento de agua de lluvia (INTA *et al.*, 1980). No obstante, por tratarse de la zona más limitada de la provincia en materia de agua subterránea (Malán, 1981), el aprovechamiento de los recursos hídricos pluviales constituiría una alternativa viable para suplir la escasez de agua de la zona.

Con todo, esta región posee características relativamente buenas para la captación y almacenamiento de agua pluvial y la mayor necesidad de contar con neofuentes hídricas, por lo que presenta el mayor valor promedio. Esta afirmación concuerda con los resultados obtenidos por Hofstadter (1983); quién a la vez diferenció un sector con aptitud buena (área con drenaje dendrítico) y un sector con aptitud media (complemento de la región). No obstante, el sector con aptitud media se corresponde aproximadamente con el triángulo imaginario más deficitario en materia hidrogeológica de la provincia, por lo que no se justifica subdividir a esta región.

Planicie de inundación actual (II)

Esta región posee un potencial climático superior al encontrado en las regiones V, VI y VII e inferior al de las regiones I, III y IV. Las precipitaciones medias anuales oscilan desde 375 mm en el sector oriental a 350 mm en el sector occidental, siendo ambos valores límites aproximados.

En condiciones naturales, la región dispondría de cursos fluviales permanentes de regular calidad para bebida de ganado y riego (Seara, 1972; Alvarellos de Lell y Hernández, 1982; Colombato *et al.*, 1983). Sin embargo, por el desmedido manejo del Sistema Atuel-Salado aguas arriba, en las provincias de San Juan y Mendoza, los caudales ven muy disminuidos los valores de sus módulos (Schulz, 1999; UNLPam, 2001). Es más, en años hidrológicamente poco favorables, el drenaje de estos cursos fluviales es prácticamente nulo. Por otra parte, si bien los recursos hídricos subterráneos satisfacen la escasa demanda de la zona, poseen fuertes limitantes hidráulicas e hidroquímicas (Bojanich Marcovich, 1978; Malán, 1981; Deladino, 2000 y 2002) para extraer de los acuíferos mayores caudales sin deteriorar la calidad del agua.

La configuración topográfica de la región ofrece muy pocos lugares que actuarían como cuencas de captación y almacenamiento de agua pluvial. Estas estarían restringidas a las concavidades de la llanura aluvial y a las depresiones localizadas al pie del sistema de bardas (INTA *et al.*, 1980; Calmels, 1996). Mientras las primeras captarían las precipitaciones ocurridas en sus laderas y los muy esporádicos rebalses de los cursos fluviales activos; las últimas se alimentarían, principalmente, a partir de los drenajes ocasionales que escurren por los cañadones labrados en el sistema de bardas.

La porosidad de los materiales geológicos superficiales no es la mejor para captar y almacenar agua meteórica. Pese a ello, los valores medios estimados de permeabilidad del

suelo y drenaje, favorecen las posibilidades de captación y almacenamiento de las aguas pluviales en relación a las demás regiones.

Frente a la escasa disponibilidad de agua subterránea y a la presencia de cursos fluviales con caudales disminuidos por intervención antrópica, cobra importancia la búsqueda de alternativas que permitan poner a disposición de los productores mayores volúmenes hídricos. Si bien, el gradiente topográfico medio y la naturaleza del sustrato no son óptimos, la factibilidad de la captación reside, principalmente, en las características edáficas. Esta aseveración disiente con Hofstadter (1983), quién concluyó que esta región posee aptitud pobre para la construcción de tajamares.

Planicie medanosa (III)

Las precipitaciones medias anuales varían desde 500 mm en el sector oriental hasta 375 mm, aproximadamente, en el límite con la Planicie de inundación actual. Desde este punto de vista, la región presenta posibilidades de captación semejantes a la regiones I y IV. El principal impedimento para desarrollar este proceso, radica en los bajos gradientes topográficos y en el drenaje algo excesivo.

Los recursos hídricos superficiales son cuantitativamente muy poco significativos (Alvarellos de Lell y Hernández, 1982), tratándose en todos los casos de fuentes lénticas. Por su parte, los acuíferos soportan la demanda de agua de la zona (Deladino, 2000); con buenas perspectivas de obtener mayores caudales manteniendo la calidad, excepto en algunos sectores con predominio de características acuitardas y acuicludas en la columna litológica.

Pese a los bajos valores de gradiente topográfico medio, algunas áreas intermedanosas presentan concavidades (INTA *et al.*, 1980; Calmels, 1996; Melchor y Llambías, 2000; Melchor y Casadío, 2001) que podrían ser utilizadas para captar y almacenar agua meteórica.

En síntesis, a pesar de la configuración topográfica general y el drenaje; el buen potencial climático, la permeabilidad del suelo y la naturaleza del sustrato hacen factible captar y almacenar agua meteórica en esta región. Hofstadter (1983) consideró que esta zona no es apta para la construcción de tajamares, excepto el sector sureste del departamento Limay Mahuida. Al respecto, no se encontraron en el presente trabajo diferencias significativas para el mencionado sector, a los efectos de captar y almacenar agua pluvial.

Mesetas y depresiones (IV)

El potencial climático es muy bueno, solamente equiparable al encontrado en la regiones I y III. Las precipitaciones medias anuales disminuyen desde 500 mm en el sector norte hasta 400 mm en el sector suroeste. Pese a ser la segunda región con mayor potencial de captación y almacenamiento (aptitud); la menor necesidad de nuevas fuentes hídricas con respecto a otras regiones, actuó en detrimento del valor medio obtenido en la matriz.

El río Colorado es un elemento hidrográfico que tiene probada calidad para riego y bebida de ganado (UNLPam, 2001). En tanto, los acuíferos de la región poseen generalmente contenidos salinos moderados. No obstante, muestran batimetrías y calidades

disímiles, según se encuentren en las mesetas o en las geoformas negativas (Malán, 1981; Deladino, 2000). Mientras los primeros se hallan a grandes profundidades y poseen calidad regular a buena, los últimos son someros y de calidad regular. Por ello, los recursos hídricos subterráneos localizados en los sectores positivos, si bien poseen restricciones hidráulicas, deberían ser más profundamente estudiados para determinar las reales posibilidades de satisfacer una demanda mayor.

La configuración topográfica de la región conforma una serie de cuencas (INTA *et al.*, 1980; Calmels, 1996) de captación y almacenamiento de agua meteórica de distintos tamaños. Las más grandes se corresponden con las depresiones y captarían las precipitaciones ocurridas en las barrancas, probablemente conducidas hacia los centros de cuenca por los cañadones labrados en los taludes. En las mesetas, el relieve ondulado define cuencas de menor tamaño, que colectarían las precipitaciones acaecidas en sus laderas.

Como se mencionó, esta región presenta un potencial de captación y almacenamiento de agua pluvial únicamente superado por la región I. Ello se debe, principalmente, a las precipitaciones medias anuales y al gradiente topográfico medio. Los factores permeabilidad, drenaje y sustrato; manifiestan valores estimados intermedios, en relación a las demás regiones.

Los resultados obtenidos por Hofstadter (1983) concuerdan parcialmente con los del presente estudio. Empero, este autor consideró que, en general, las mesetas poseen mayor aptitud que las geoformas negativas para el emplazamiento de colectores pluviales. No obstante, identificó algunas depresiones al norte de la Ruta Nacional 22 con aptitud superior al encontrado en las geoformas positivas.

Paleoabanico del río Colorado (V)

En esta región, los valores de precipitación media anual fluctúan desde 375 mm aproximadamente en el sector oriental, a 225 mm en Cnia. 25 de Mayo (localidad ubicada en el extremo suroeste de la región). El potencial de captación y almacenamiento se encuentra muy limitado por las precipitaciones, el drenaje y la naturaleza del sustrato. Los restantes factores que determinan la viabilidad del proceso (permeabilidad del suelo y gradiente topográfico medio), son relativamente buenos en comparación con las otras regiones.

De manera similar a lo que ocurre en la región IV, la única fuente hídrica lótica que se presenta es el río Colorado; elemento hidrográfico capaz de suministrar importantes caudales de buena calidad (UNLPam, 2001). Todo lo contrario ocurre con los recursos hídricos subterráneos; ya que, se presentan acuíferos con graves limitantes cuali-cuantitativas y un gran desconocimiento hidrogeológico (Malán, 1981). Frente a ello, los recursos hídricos pluviales podrían ofrecer volúmenes interesantes para complementar la demanda e intentar intensificar la producción de la región.

El valor estimado del factor gradiente topográfico medio, solo es superado por las regiones I y IV. La configuración topográfica general, restringe los sectores que actuarían como cuencas de captación a los paleocauces alineados según la pendiente regional. Estos captarían las precipitaciones ocurridas en sus flancos y las avenidas pluviales pendiente abajo. Un estudio detallado de los sectores interdepresiones podría verificar la existencia de concavidades topográficas, que permitan la captación y almacenamiento de agua meteórica.

Hofstadter (1983) consideró que los paleocauces poseen aptitud buena para el emplazamiento de tajamares, calificación equiparable a la del ámbito de la región I. Sin embargo, aquella presenta una aptitud promedio superior, debido fundamentalmente al potencial climático y a las condiciones aflorantes y subaflorantes del basamento hidrogeológico. Además, la necesidad de contar con neofuentes hídricas es mayor en la región I.

Planicie de Chical Co (VI)

Los valores pluviométricos medios anuales de la región, oscilan de 350 mm en el sector oriental a menos de 300 mm en el límite con la provincia de Mendoza. Por lo tanto, desde la óptica climática presenta un potencial de captación que únicamente supera a la región VII. En relación a las demás regiones, los valores estimados de los factores gradiente topográfico medio, permeabilidad del suelo, drenaje y sustrato, no favorecen la intención de colectar y almacenar agua meteórica. Este hecho se ve reflejado en la aptitud promedio de la región, que manifiesta el valor más bajo.

En general, los recursos hídricos superficiales no podrían utilizarse para satisfacer la demanda, en virtud de las limitantes cuali-cuantitativas que presentan. Escapa a este comentario el Manantial Agua de Torres, localizado en el noroeste de la región (González Díaz, 1972b; Alvarellos de Lell y Hernández, 1982), el que es utilizado actualmente como fuente de agua potable. Los acuíferos de la región muestran fuertes restricciones hidráulicas, sobre todo en el sector oriental (Malán, 1981; Deladino, 2000), para la obtención de volúmenes superiores tendientes a aumentar la productividad de esta zona. Por ello, la captación y almacenamiento de las precipitaciones de esta región, pondría a disposición de los productores cantidades hídricas, por lo menos interesantes, para una zona actualmente muy poco productiva.

Pese a que la región presenta morfología de planicie con suave pendiente regional hacia el E-SE (INTA *et al.*, 1980; Calmels, 1996; Melchor y Llambías, 2000), se presentan pequeñas áreas plano-cóncavas producto de la actividad hídrica, que actuarían como cuencas. Estas captarían las esporádicas precipitaciones acaecidas sobre sus flancos y, en algunos casos, los drenajes ocasionales de los cauces efímeros.

Hofstadter (1983) consideró que esta zona posee menor aptitud que los paleocauces de la región V para la construcción de tajamares; criterio que se comparte en el presente estudio.

Planicie Basáltica (VII)

Para esta región, el promedio anual de las precipitaciones oscila de 325 mm en el sector nororiental a menos de 300 mm en el límite interprovincial La Pampa-Mendoza. Se presentan valores pluviométricos medios anuales inferiores a los encontrados en el ámbito de todas las otras regiones. La factibilidad de la captación se encuentra limitada, principalmente, por las precipitaciones y la topografía y, en menor medida, por la permeabilidad del suelo, el drenaje y la naturaleza del sustrato.

Varios autores (Bisceglia, 1977; Malán, 1981; Malán *et al.*, 1998; Deladino, 2000) se refirieron a la presencia de manantiales en el departamento Puelén, destacando la calidad de los mismos. Además, la región dispone de las aguas del río Colorado, de sabida calidad

para fines agrícolo-ganaderos (UNLPam, 2001). Por ello, la región posee los mejores recursos hídricos superficiales de la zona de estudio. En tanto, los acuíferos manifiestan restricciones hidráulicas más que hidroquímicas (Deladino, 2000).

Mas allá del valor del gradiente topográfico medio, los sectores plano-cóncavos alargados en el sentido de la pendiente y las depresiones producto del relieve suavemente ondulado (INTA *et al.*, 1980; Calmels, 1996; Melchor y Casadío, 2001), representan los sitios que operarían como cuencas de captación. En ellas se acumularían las esporádicas precitaciones acontecidas en sus márgenes. La escasa magnitud de la pendiente de sus flancos (INTA *et al.*, 1980) influiría nocivamente en las posibilidades de captación.

Hofstadter (1983) no contempló la posibilidad de captar y almacenar agua meteórica en esta zona, debido a las limitadas precipitaciones medias anuales hasta comienzos de los años ochenta. Sin embargo, el aumento pluviométrico registrado en las últimas décadas (Roberto *et al.*, 1994) (**Anexo**), realza la importancia de utilizar aguas pluviales como insumo complementario para la producción primaria.

CONCLUSIONES

El análisis de los factores físicos del ambiente (precipitaciones, gradiente topográfico medio, permeabilidad del suelo, drenaje, sustrato, caudal de las aguas lóticas, salinidad de las aguas lóticas, caudal de los acuíferos y salinidad de los acuíferos) permiten concluir que es factible captar y almacenar agua meteórica en las regiones geomorfológicas del oeste y sur de la provincia de La Pampa.

De mantenerse la tendencia creciente de las precipitaciones, las posibilidades de captación y almacenamiento de agua pluvial como una fuente alternativa y complementaria de los recursos hídricos explotados, permitiría incrementar la producción primaria de la zona de estudio.

Al momento de realizar este compendio, en general, las investigaciones hidrogeológicas no visualizan buenas perspectivas a los efectos de extraer mayores caudales sin deteriorar la calidad del agua; relacionado esto con las características predominantemente acuitardas de las unidades donde se alojan los recursos hídricos subterráneos.

Las regiones geomorfológicas identificadas, pudieron ser evaluadas y clasificadas, según su potencial de captación y almacenamiento de agua meteórica, como por la necesidad de fuentes alternativas del recurso. En orden decreciente de potencial y necesidad tenemos: I)Peneplanicie de Lihuel Calel (buena), II)Planicie de inundación actual (buena), III)Planicie medanosa (regular), IV)Mesetas y depresiones (regular), V)Paleoabanico del río Colorado (regular), VI) Planicie de Chical Co (regular) y VII)Planicie Basáltica (mala).

CONSIDERACIONES PARA FUTUROS ESTUDIOS

El presente trabajo servirá de base para futuras investigaciones, orientadas a lograr una mayor productividad en la zona con un bajo impacto ambiental, tendientes a un desarrollo sustentable. Entre ellas:

- Determinar la ubicación geográfica precisa de las cuencas colectoras de las distintas regiones, en función del área de drenaje de las mismas y las pendientes de sus flancos.

- Incorporar mayor cantidad de factores al esquema teórico de evaluación propuesto, con el objetivo de perfeccionar el modelo.

- Evaluar la factibilidad económica e ingenieril de la captación y almacenamiento de agua meteórica.

- Determinar el tipo de embalse más propicio para la zona.

- Evaluar la posibilidad de insertar nuevas líneas de producción.

- Delinear estrategias de manejo más racional para el sistema agua-suelo-vegetación.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Estadísticas y Censos de la provincia de La Pampa, por los datos pluviométricos; a la Dirección de Minería de La Pampa, por suministrar el Mapa Geológico de la provincia de La Pampa 1:750.000; a la Dirección de Aguas de La Pampa, por facilitar la cartografía topográfica del I.G.M; a los Lic. Olga Carballo y Manuel Szelagowski y al Dr. Ricardo Néstor Melchor por sus aportes en la elaboración de este trabajo. Finalmente, al Ing. Guillermo Casagrande y al Dr. Eduardo Mariño por la revisión del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

Adema, E.O., F.J. Babinec, D.E. Buschiazzo, M.J. Martín y N. Peinemann. 2003. Erosión hídrica en suelos del Caldenal. EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". INTA. Publicación Tecn.. Nº 53. 34 p.

Adema, E.O., F.J. Babinec, N. Peinemann. 2001. Pérdida de nutrientes por erosión hídrica en dos suelos del Caldenal Pampeano. Ciencia del Suelo. 19 (2): 144-154.

Adema E.O., Biasotti, A.E., C.A. Eberhardt, G.M. Fiol y P. Schulmeister. 1999. Aprovechamiento del agua de lluvia en la producción. Jornada de campo. Chacharramendi. INTA, EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". 28 p.

Alvarellos de Lell, E.E. y R.O. Hernández. 1982. Recursos hídricos pampeanos. Secretaría General de la Gobernación de La Pampa, Subsecretaría de Información Pública, Biblioteca Pampeana, Serie Folletos 29/82. 61 p.

Bastías, H., G.E Tello, L.P. Perucca, y J.D. Paredes. 1993. Peligro sísmico y neotectónica. Geología y Recursos Naturales de Mendoza. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de exploración de hidrocarburos. Mendoza. 6(1): 645-657.

Bates, R.L., y J.A. Jackson. 1984. Dictionary of geological terms. Prepared by the American Geological Institute. Bantam Doubleday Dell Publishing Group, Third Edition. United States of America. 571 p.

Bermúdez, A., y D. Delpino. 1989. La provincia basáltica Andino-Cuyana (35º-37º L.S.). Revista de la Asociación Geológica Argentina. Buenos Aires. 44(1-4): 35-55.

Bisceglia, H.A. 1977. Estudio hidrogeológico de la región de la meseta basáltica, con especial referencia a los manantiales. Ministerio de Obras Públicas de La Pampa, Administración Provincial del Agua, Informe Inédito. Santa Rosa. 92p.

Bisceglia, H.A. 1980. Informes hidrogeológicos preliminares sobre las Hojas "Puelches", "La Unión", "Choique Mahuida", "Sierra Chica", "Pichi Mahuida", "Sierra Chata", "La Japonesa" y región de Lihué Calel. Plan E.A.S.S.E. Ministerio de Obras Públicas de La Pampa, Administración Provincial del Agua, Dirección de Recursos Hídricos, Informe Inédito. Santa Rosa. 7 p.

Bojanich Marcovich, E. 1978. Estudio de investigación geológica-geomorfológica-hidrológica de la cuenca del río Atuel. Presentación de la provincia de La Pampa ante la Corte Suprema de la Nación. Santa Rosa. 3: 1-88.

Bojanich Marcovich, E. 1979. Investigación de los aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos sobre la cuenca de los ríos Atuel-Salado-Chadileuvú (provincias de La Pampa y Mendoza). Min. Obras Públicas de La Pampa, Administración Provincial del Agua, Dirección de Recursos Hídricos, Informe Inédito. Santa Rosa. 188 p.

Bonorino, A.G., E. Ruggiero y E. Mariño. 1989. Caracterización hidrogeológica de la Cuenca del Arroyo Chasicó (Provincia de Buenos Aires). Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. La Plata. Informe 44. 35 p.

Buteler, H. 1981. Estudio hidrogeológico regional y de fuentes de la Hoja "Cuchillo Có". Administración Provincial del Agua de La Pampa, Informe Inédito. Santa Rosa. 25 p.

Calmels, A.P. 1996. Bosquejo geomorfológico de la provincia de La Pampa. Facultad de Cs. Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa. 110 p.

Calmels, A.P., O. Carballo, H.E. Aldacour y E. Fernández. 2002. Estratigrafía del Cenozoico superior de las barrancas de las Salinas Grandes de Anzoátegui, provincia de La Pampa. Actas VIII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales: 71-73. Santa Rosa.

Canelle, L.E. 1950. Condiciones hidrogeológicas de la zona comprendida entre Telén y Santa Isabel y el valle de los ríos Salado, Atuel, Chadileuvú. Territorio de La Pampa. Ministerio de Industria y Comercio, Dirección General de Industria Minera. Buenos Aires. Informe Inédito. 35 p.

Castro, E. 1988. Estudio hidrogeológico Hojas "La Unión", "San Jorge" y "Cuchillo Có". Administración Provincial del Agua de La Pampa, Informe Inédito. Santa Rosa.

Cazenave, H.W. 1987. Diagonal fluvial pampeana. Un análisis hidrográfico por satelitaria. Actas III Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. Santa Rosa. 137-145.

Clapperton, C. 1983. The glaciation of the Andes. Quaternary Sciences Review. Cambridge. 2: 83-155.

Colombato, J.A., M.R. Covas, G.M. Tourn, O.M. Beneitez y E.O. Perez. 1983. Estudio integral de la Cuenca del Desaguadero. Trabajo realizado por el Centro de Investigaciones Geográficas para el Gob. de La Pampa. Secretaría de Difusión y Turismo del Gobierno de La Pampa. Santa Rosa. 259 p.

Cordini, R. 1967. Reservas salinas de Argentina. Anales del Instituto Nacional de Geología y Minería. Buenos Aires. 13: 1-108.

Criado Roqué, P. 1972a. El Bloque de San Rafael. Tomado de: Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. p 287-295.

Criado Roqué, P. 1972b. Cinturón Móvil Mendocino-Pampeano. Tomado de: Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba. p 297-303.

Custodio, E. y M.R. Llamas. 1983. Hidrología Subterránea (Tomo I). Ediciones Omega, Segunda Edición. Barcelona. 1157 p.

Deladino, L. 2000. Caracterización geohidrológica de la provincia de La Pampa a través de transectas representativas. Trabajo Final de Licenciatura. Facultad de Cs. Exactas y Naturales, UNLPam, Santa Rosa. Inédito, 202 p.

Deladino, L. 2002. Hidrogeología del sector norte de la provincia de La Pampa, Argentina. Actas VIII Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. Santa Rosa. 97-99.

Dirección de Estadísticas y Censos. 2001. Registro pluviométrico de la Provincia de La Pampa. Inédito.

Etchevehere, P.H. 1976. Normas de Reconocimiento de Suelo. INTA Castelar, Departamento de suelos. Publicación N° 152, 211 p.

Espejo, P.G. y D.G. Silva Nieto. 1996. Descripción geológica de la Hoja 3966-II "Puelches" (1:250.000), provincias de La Pampa y Río Negro. Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico. Buenos Aires. Boletín 216, 35 p.

FAO. 1976. Esquema para la evaluación de tierras. Boletín de Suelos de la FAO Nº 32, 66 p.

Fernández Duque, J. 1988. Tajamares y pozones: una solución siempre vigente. INTA Trelew, Desarrollo Rural Nº 5: p 1-3.

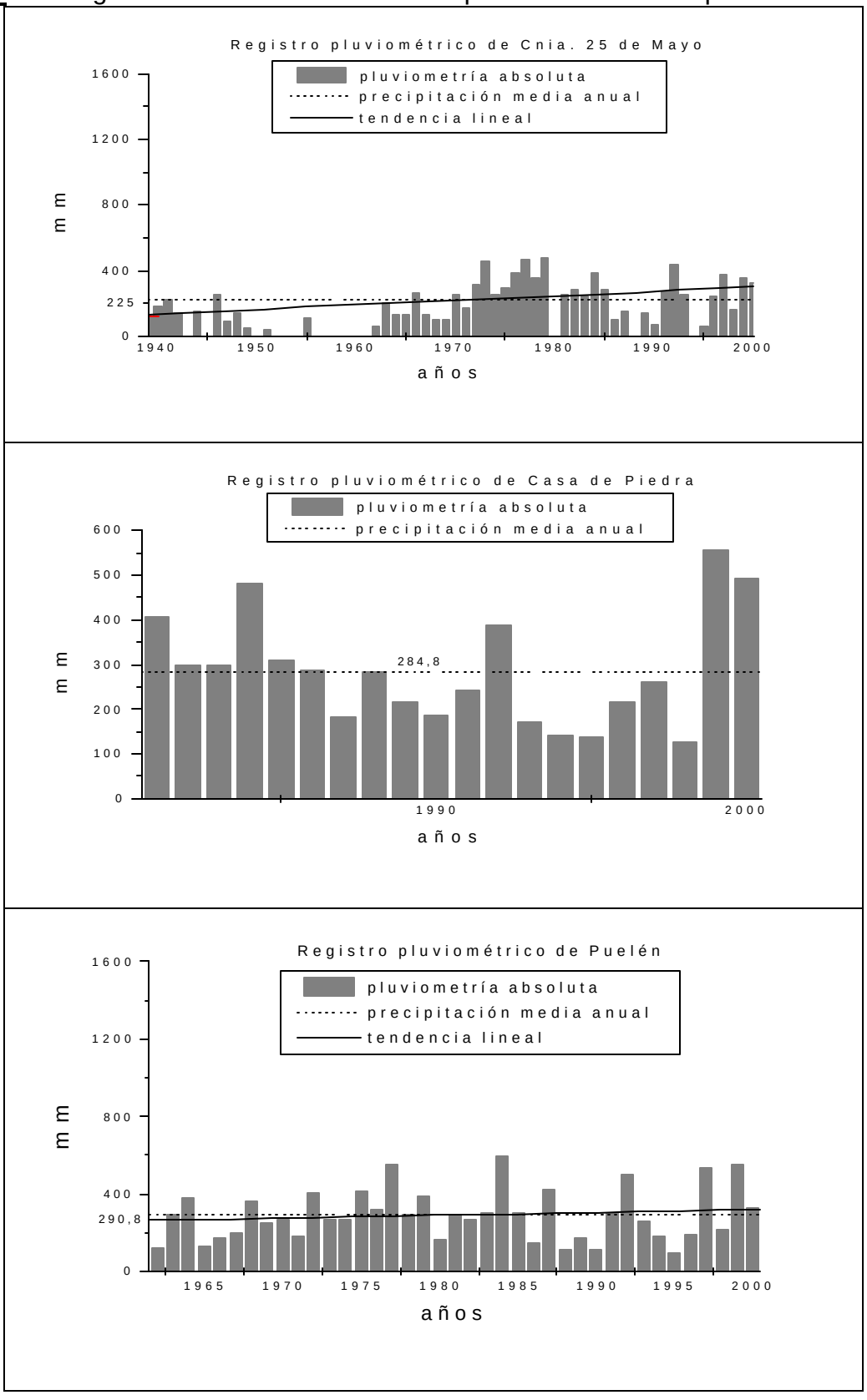
Galmarini, A. G. 1961. Caracterización climática de la provincia de La Pampa. Operación Carnes (CADAFE), Publicación Técnica Nº 13, 59 p.

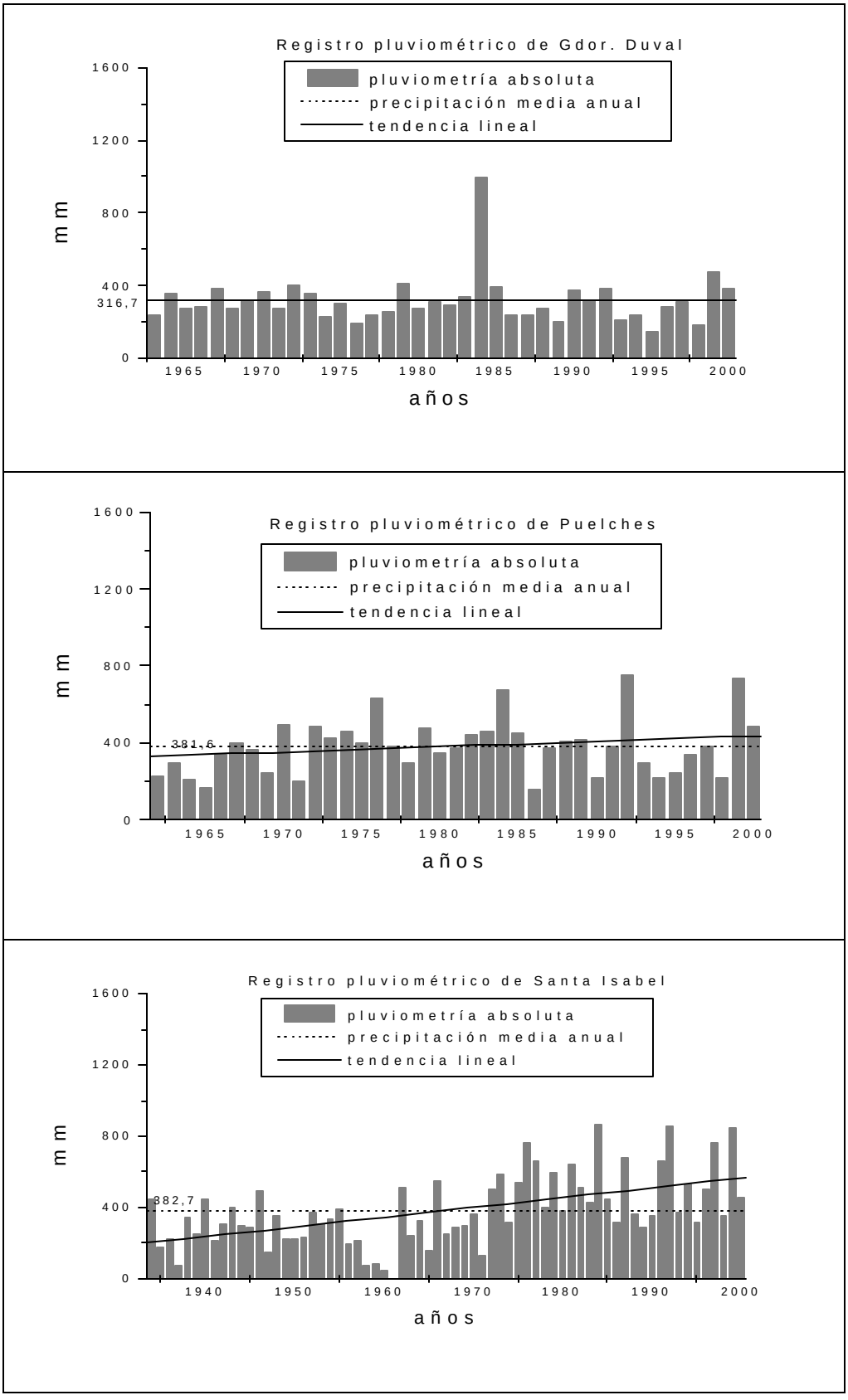
Giai, S.B. 1974. Informe hidrogeológico preliminar de la Hoja 3766-16 "Jaguel del Monte". Administr. Provincial del Agua de La Pampa. Santa Rosa. Informe Inédito, 8 p.

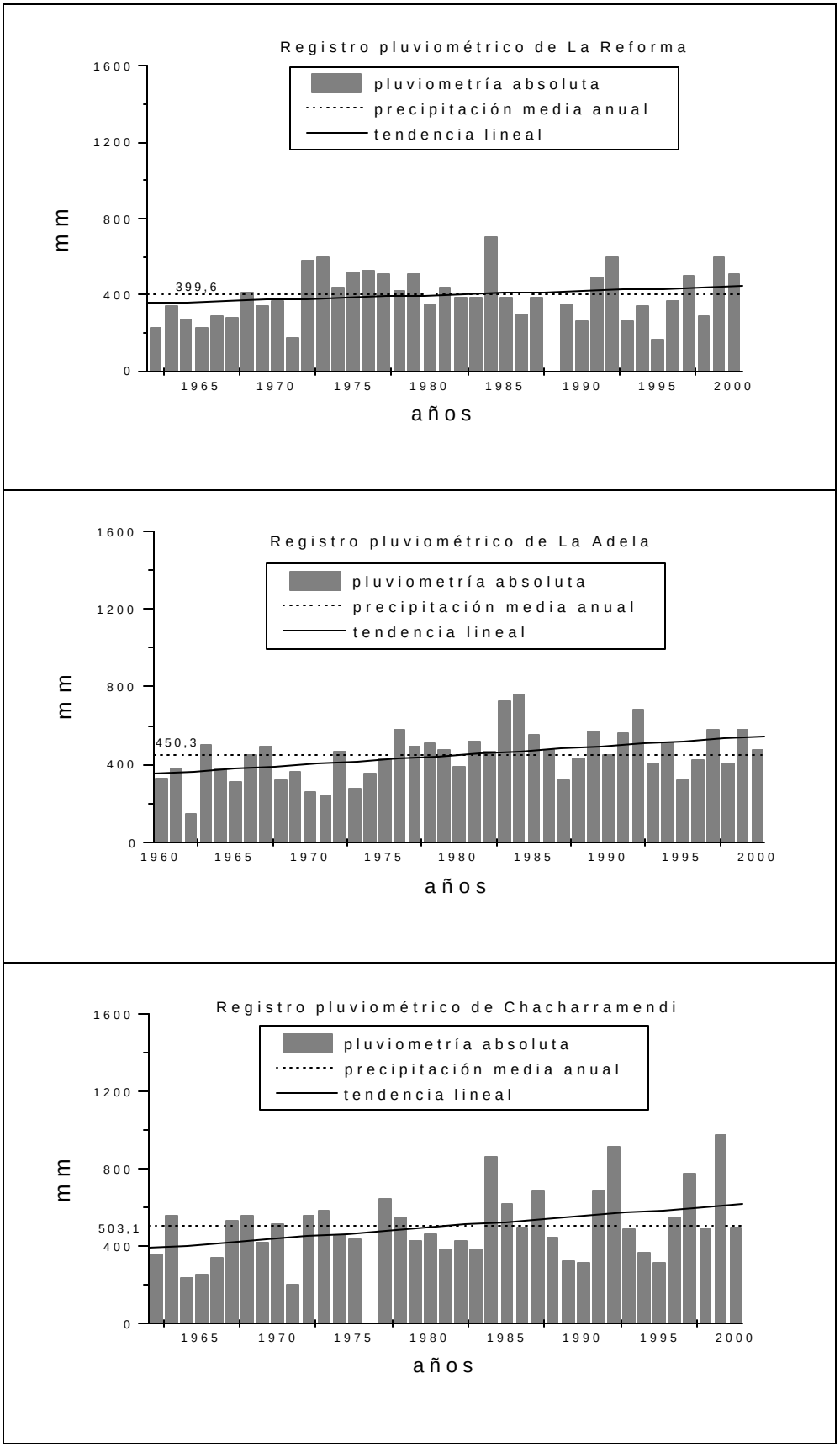
Giai, S.B. 1975. Plan de investigación de aguas subterráneas (P.I.A.S.). Santa Rosa. Informe Preliminar Inédito, 56 p + 25 figuras + 6 mapas.
Giai, S.B. 1986. Morfología de la superficie freática de la provincia de La Pampa. Actas III Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales. Santa Rosa. 73-82.
Giai, S.B. y J.O. Tullio. 1998. Características de los principales acuíferos de la provincia de La Pampa. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. Buenos Aires. 12: 51-68.
González Díaz, E. 1972a. Descripción geológica de la Hoja 30e, "Agua Escondida". Dirección Nacional de Geología y Minería. Buenos Aires. Boletín 135: 1-78.
González Díaz, E. 1972b. Descripción geológica de la Hoja 30d, "Payún Matru". Dirección Nacional de Geología y Minería. Buenos Aires. Boletín 130: 1-92.
Hofstadter, R. 1983. Estudios en la región oeste de la provincia de La Pampa. Experimentación y transferencia de tecnología agropecuaria. Aprovechamiento de aguas pluviales para abrevaderos de ganado. Gobierno de La Pampa. Informe Inédito, 92 p.
INTA, Prov. de La Pampa y UNLPam. 1980. Inventario integrado de los recursos naturales de la provincia de La Pampa. Clima, Geomorfolofía, Suelo y Vegetación. 493 p.
INTA-M.A.B del Chaco. 1972. Aguadas permanentes. INTA EERA Sáenz Peña, Resistencia. Serie Instalaciones Nº 2: 1-2.
Iriondo, M. 1994. Los climas cuaternarios de la región pampeana. Comunicaciones (Nueva Serie) del Museo Provincial de Ciencias Naturales "Florentino Ameghino", Santa Fe. 4(2): 46 p.
Iriondo, M. 1997. Models of deposition of loess and loessoids in the Upper Quaternary of South America. Journal of American Earth Sciences. 10(1): 71-79.
Iriondo, M. y D.M. Krohling. 1995. El sistema eólico pampeano. Comunicaciones Nueva Serie del Museo Provincial de Ciencias Naturales "Florentino Ameghino", Santa Fe. 5(1): 1-46.
Linares, E., E.J. Llambías, y C.O. Latorre. 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(1): 87-146.
Llambías, E.J. 1975. Geología de la provincia de La pampa y su aspecto minero. Dirección de Minas de La Pampa, Santa Rosa. Informe Inédito, 38 p.
Llambías, E.J. y M.A. Leverato. 1975. El "plateau" riolítico de la provincia de La Pampa, República Argentina. Actas II Congreso Iberoamericano de Geología Económica, Buenos Aires. 1: 99-114.
Malán , J.M. 1978. Informe sobre las posibilidades de abastecimiento de agua potable a la población residente en La Humada. Admin. Provincial del Agua de La Pampa. Informe inédito. Santa Rosa. 9 p.
Malán, J.M. 1981. Aspectos geohidrológicos más salientes de la provincia de La Pampa. I Jornadas de Geología de la Provincia de La Pampa, Santa Rosa. Fascículo 5: 67-91.
Malán, J.M. 1986. Informe hidrogeológico en los alrededores de Salina Colorada Grande. Administración provincial del agua de La Pampa, Santa Rosa. Informe Inédito.
Malán, J.M. 1991. Informe sobre el resultado de investigaciones geohidrológicas en distintas áreas medanosas de Santa Isabel. Administración Provincial del Agua de La Pampa, Santa Rosa. Informe Inédito, 10 p.
Malán, J.M. y J.C. Schulz. 1989. Informe sobre los estudios hidrogeológicos para suministro de agua en la construcción de la Ruta Nacional 143, tramo Arbol Solo-Chacharramendi. Administración Provincial del Agua de La Pampa, Santa Rosa. Informe Inédito, 6 p.
Malán, J.M., E.E. Mariño y C.H. Miglianelli. 1998. Geohidrología de la región de la Meseta Basáltica, provincia de La Pampa. Facultad de Cs. Exactas y Naturales, UNLPam., Santa Rosa. Informe Inédito, 28 p + 2 Anexos.
Melchor, R.N. y E.J. Llambías. 2000. Descripción geológica de la Hoja 3766-I "Santa Isabel" (1:250.000), provincia de La Pampa. Secretaría de Minería de la Nación, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires. Inédito, 41 p.
Melchor, R.N. y S., Casadío. 2001. Descripción geológica de la Hoja 3766-III "La Reforma" (1:250.000), provincia de La Pampa. Secretaría de Minería de la Nación, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires. Boletín 295: 1-56.
Ministerio de Asuntos Agrarios de La Pampa. 1988. Agro Pampeano Nº 12: 58-66.
Ollier, C. 1991. Ancient landforms. Belhaven Press (Pinter Publishers), London. 233 p.
Parry, M. L. 1990. Climate Change and World Agriculture. Earthscan, London.157 p.
Prohaska, F. J. 1961. Las características de las precipitaciones en la región semiárida pampeana. Revista de Investigaciones Agrícolas, TXV (2): 199-132.

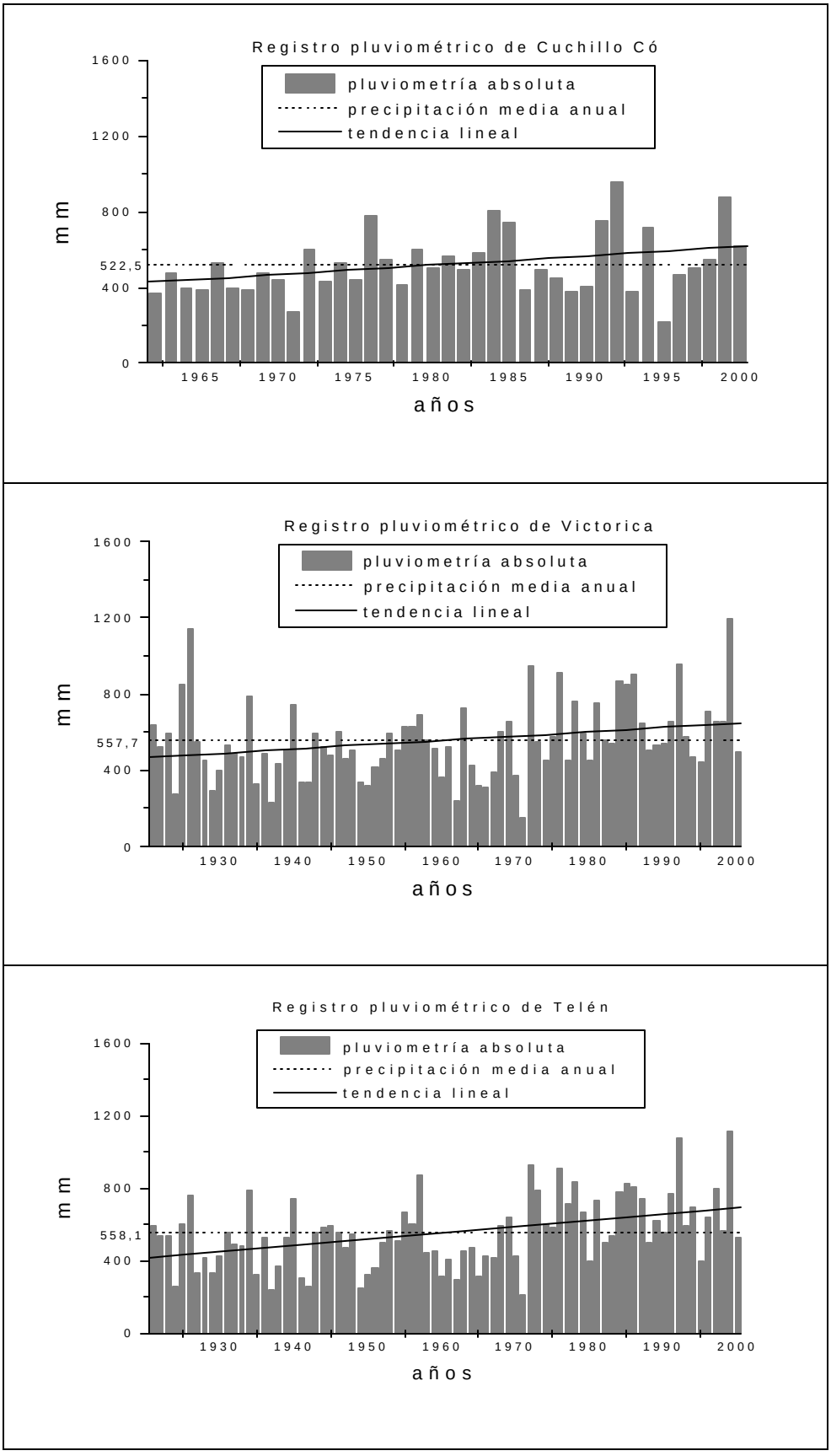
Ramos, V.A. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. Tomado de: Geología Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires. p 41-96.
Rimoldi, H.V. y D.J., Silva Nieto. 1999. Mapa geológico de la provincia de La Pampa (1:750.000), República Argentina. Servicio Geológico Minero Argentino y Gobierno de La Pampa. Buenos Aires.
Roberto Z., G. Casagrande y E.F. Viglizzo. 1994. Lluvias en la Pampa Central. Tendencias y variaciones del siglo. Centro Regional La Pampa-San Luis, INTA. Cambio climático y agricultura sustentable en la región pampeana, Publ. N° 2: 25 p.
Seara, C.A. 1972. Influencias climato-económicas del sistema Atuel-Salado-Chadileuvú. Secretaría General de la Gobernación de La Pampa, Dirección de Prensa, Biblioteca Pampeana, Santa Rosa. Serie Folletos 18/82, 21 p.
Schulz, C. J. 1999. Agua y medio ambiente. Cooperativa de Obras, Servicios Públicos, Crédito y Provisión de Quemú Quemú Limitada. Santa Rosa. 190 p.
Sobral, J.M. 1942a. Geología de la comarca del territorio de La Pampa situada al occidente del Chadi-Leuvú. Boletín de informaciones Petroleras, Buenos Aires. 212: 33-81.
Sobral, J.M. 1942b. Geología de la región occidental del territorio de La Pampa. Anales I Congreso Panamericano de Minas y Geología, Santiago de Chile. 2: 668-750.
Spartan. 1981. Aprovechamiento minero de la provincia de La Pampa. Consejo Federal de inversiones, Buenos Aires. Volumen I, 236 p.
Sudamconsult y Asociados. 1970. Gran Salitral y Salina Grande de Puelén. Estimación de sus reservas salinas. Santa Rosa. Informe Inédito, 22 p + 5 figuras.
Suriano, J.M y L.H Ferpozzi. 1993. Los cambios climáticos en La Pampa también son historia. Todo es Historia, 58(306): 8-25.
Terraza, J.C., S.B. Bazan y E.E. de Elorriaga. 1981. Estudio geológico de la zona centro oeste de la provincia de La Pampa entre Limay Mahuida y La Reforma. Cátedra de Geología de Campo, Facultad de Cs. Exactas y Naturales, UNLPam. Santa Rosa. Informe Inédito, 23 p.
Terraza, J.C., S.B. Bazan y E.E. de Elorriaga.1982. Geología del oeste de la provincia de La Pampa, República Argentina. Resúmenes V Congreso Latinoamericano de Geología. Buenos Aires. 24-25.
Tullio, J.O. 1981. El Cuaternario en la provincia de La Pampa. Informe preliminar inédito. Dirección de recursos Hídricos de La Pampa, Santa Rosa. 16 p.
Tullio, J.O. 1992. Estudio de fuentes (replanteo) en Limay Mahuida. Administración Provincial del Agua de La Pampa, Santa Rosa. Informe Inédito.
Thurow, T.L. 1991. Hydrology and erosion. In: Grazing management an ecological perspective, p 141-159.
Uliana, M.A. y H.H. Camacho. 1975. Estratigrafía y paleontología de la Formación Vaca Mahuida, provincia de Río Negro. Actas I Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, San Miguel de Tucumán. 2: 357-376.
UNLPam. 2001. Estudios ambientales de base (zona centro) de la provincia de La Pampa. Informe tarea IV. Evaluación del estado ambiental de las áreas mineras de la provincia de La Pampa. Santa Rosa. 160 p.
Viglizzo, E.F. 1994. Los cambios del clima y la agricultura pampeana. Centro Regional La Pampa-San Luis, Cambio climático y agricultura sustentable en la región pampeana. Publicación N° 1: 10 p.
Viglizzo, E.F., Z.E. Roberto y N.R. Brockinton. 1991. Agroecosystems performance in the semiarid pampas of Argentina and their interactions with the environment. Agriculture, Ecosystems and Environment. 36: 23-36.
Viglizzo, E.F., Z.E. Roberto, C.E. Filippín y A.J. Pordomingo. 1995. Climate variability and agroecological change in the central pampas of Argentina. Agriculture, Ecosystems and Environment. 55: 7-16.
Vilela, C.R. y J.C. Riggi. 1956. Rasgos geológicos y petrológicos de la Sierra Lihué Calel y área circundante de La Pampa. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 11 (4): 217-272.
Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA. Handbook Nº 282. 58 p.

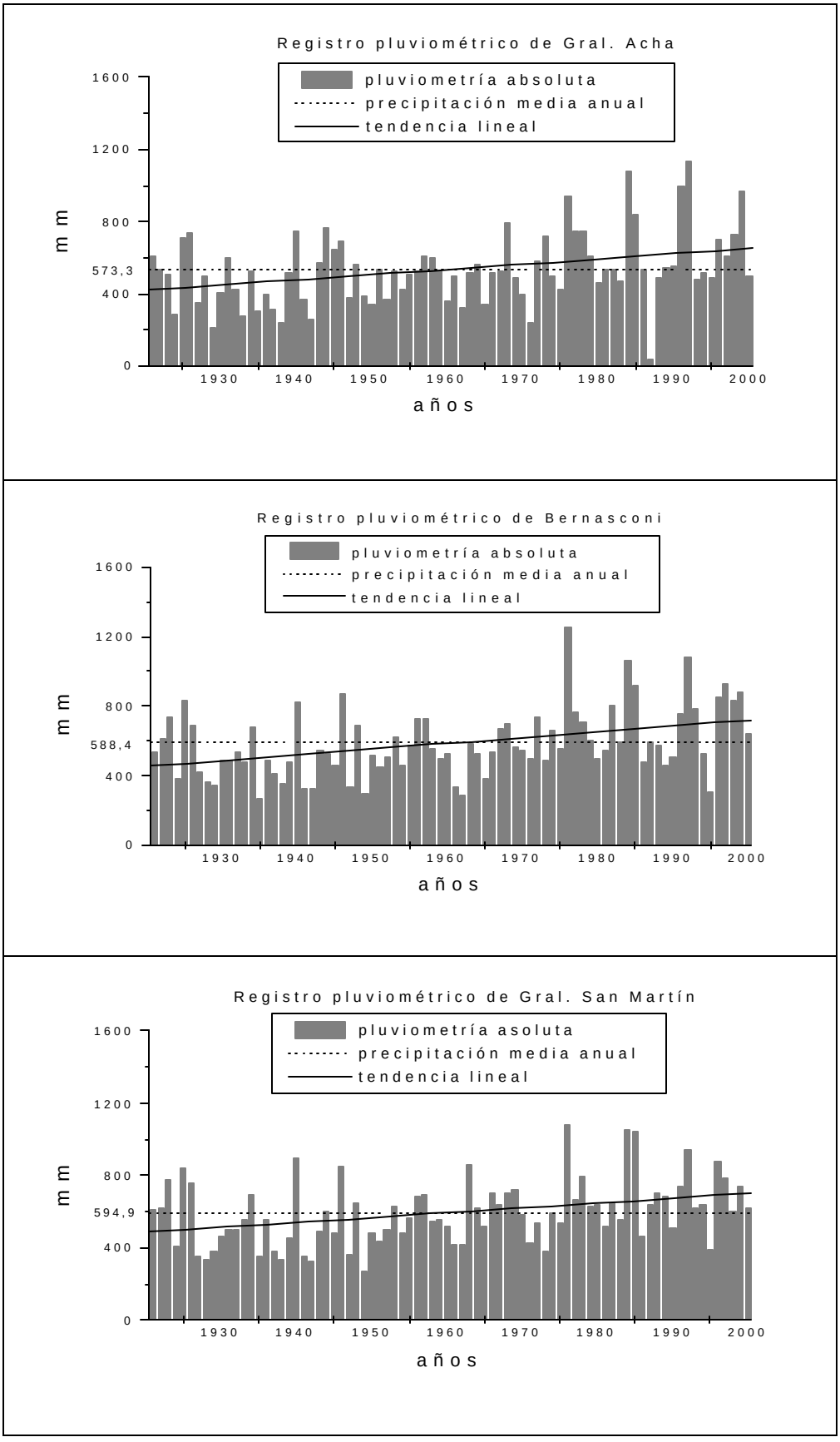
ANEXO: Pluviogramas de 36 localidades de la provincia de La Pampa.

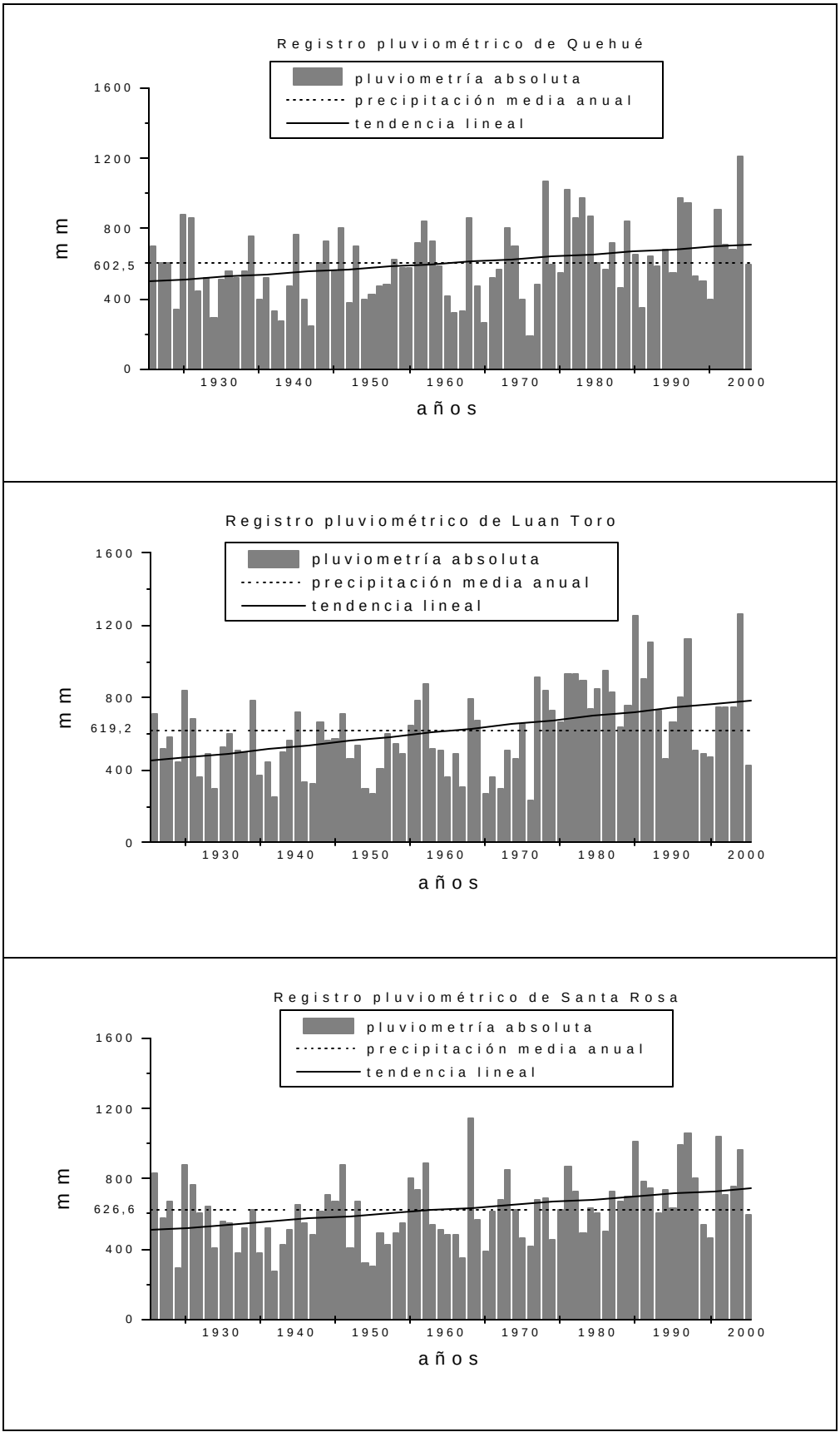


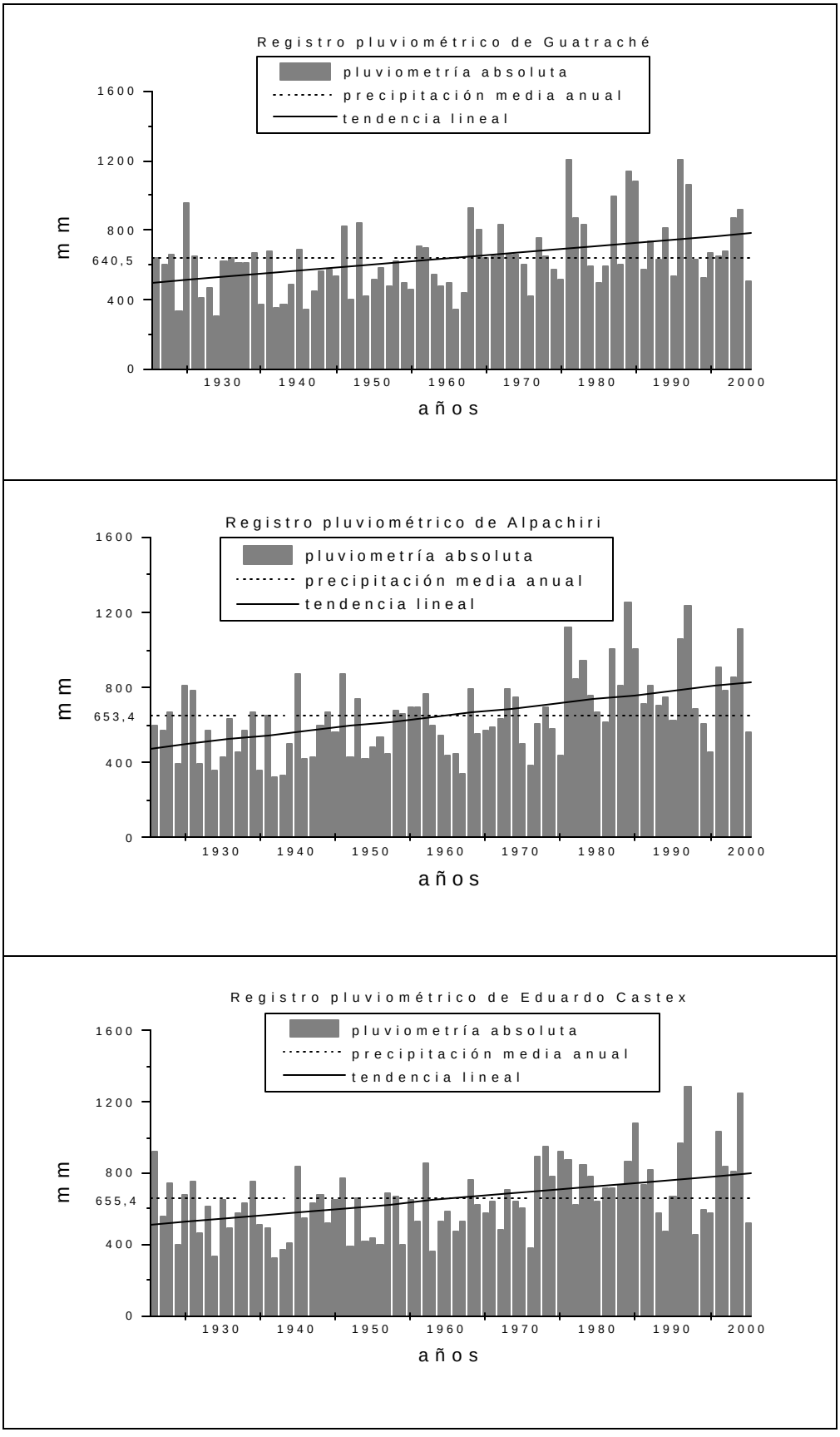

Registro pluviométrico de Gdor. Duval
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
400
316,7
0
m m
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
años
Registro pluviométrico de Puelches
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
400
381,6
0
m m
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
años
Registro pluviométrico de Santa Isabel
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
400
382,7
0
m m
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años

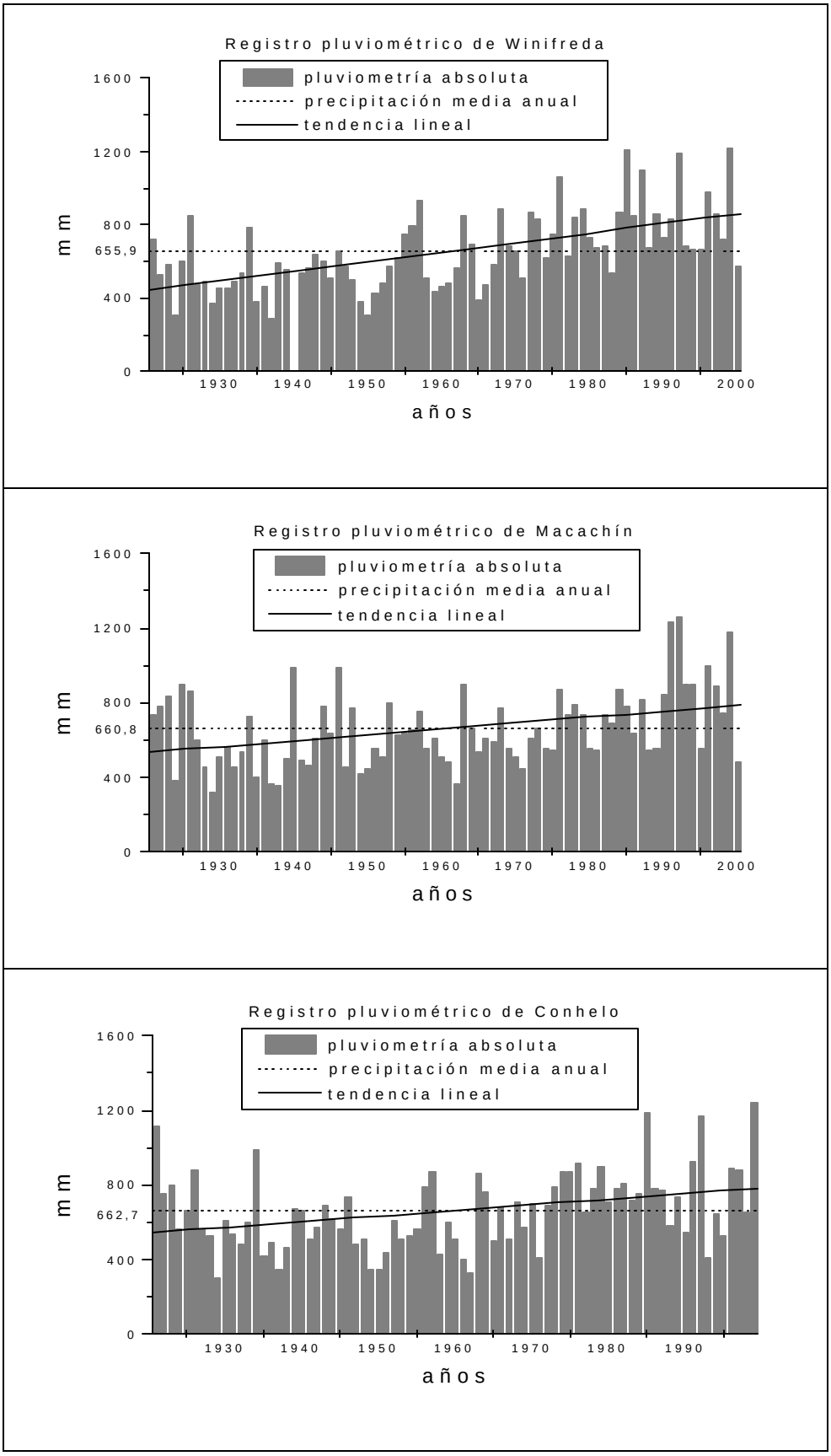

Registro pluviométrico de La Reforma
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
400
0
m m
399,6
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
años
Registro pluviométrico de La Adela
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
400
0
m m
450,3
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
años
Registro pluviométrico de Chacharramendi
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
503,1
400
0
m m
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
años

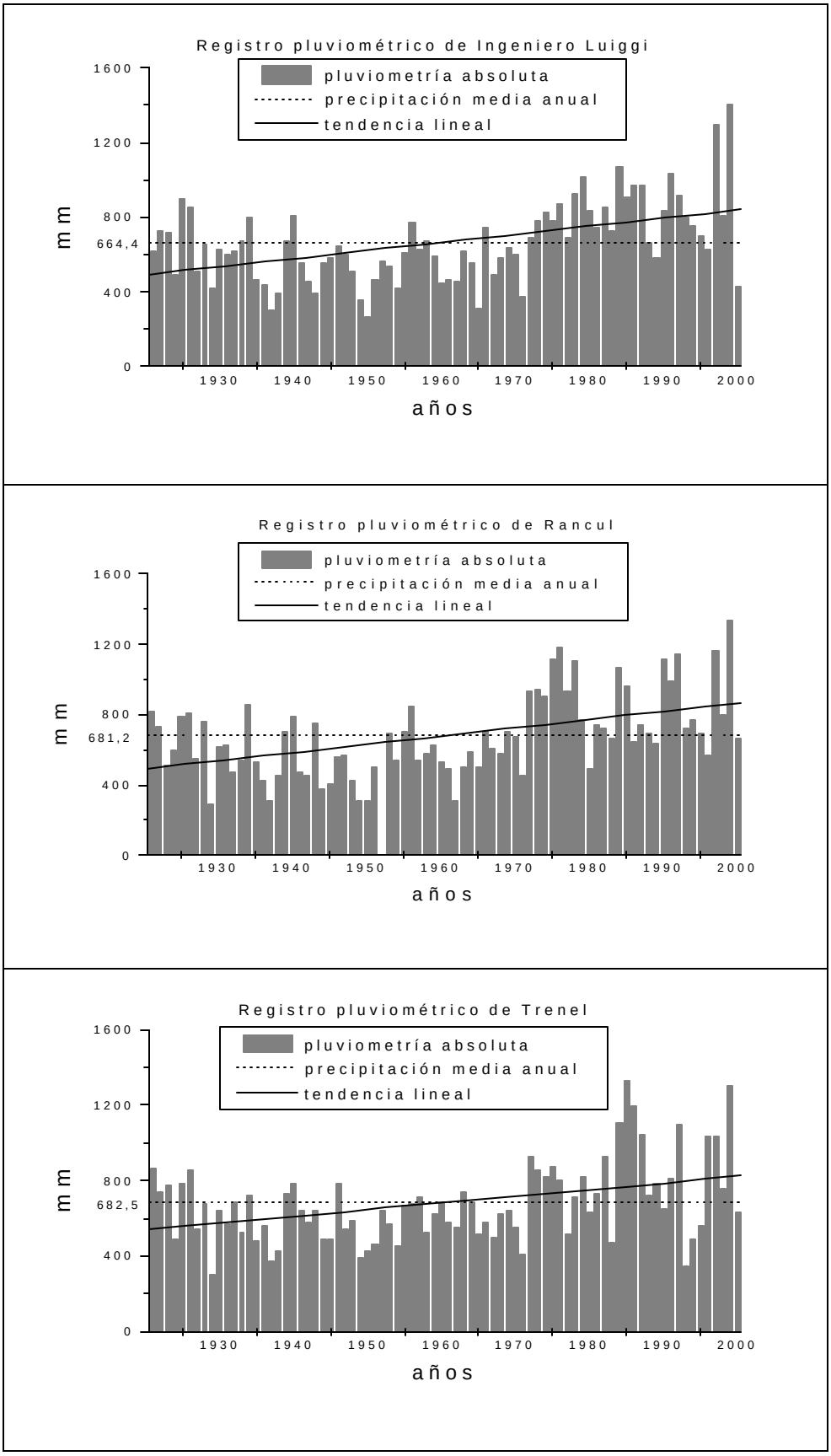

Registro pluviométrico de Cuchillo Có
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
522,5
400
0
mm
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
años
Registro pluviométrico de Victorica
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
557,7
400
0
mm
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Telén
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
558,1
400
0
mm
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años

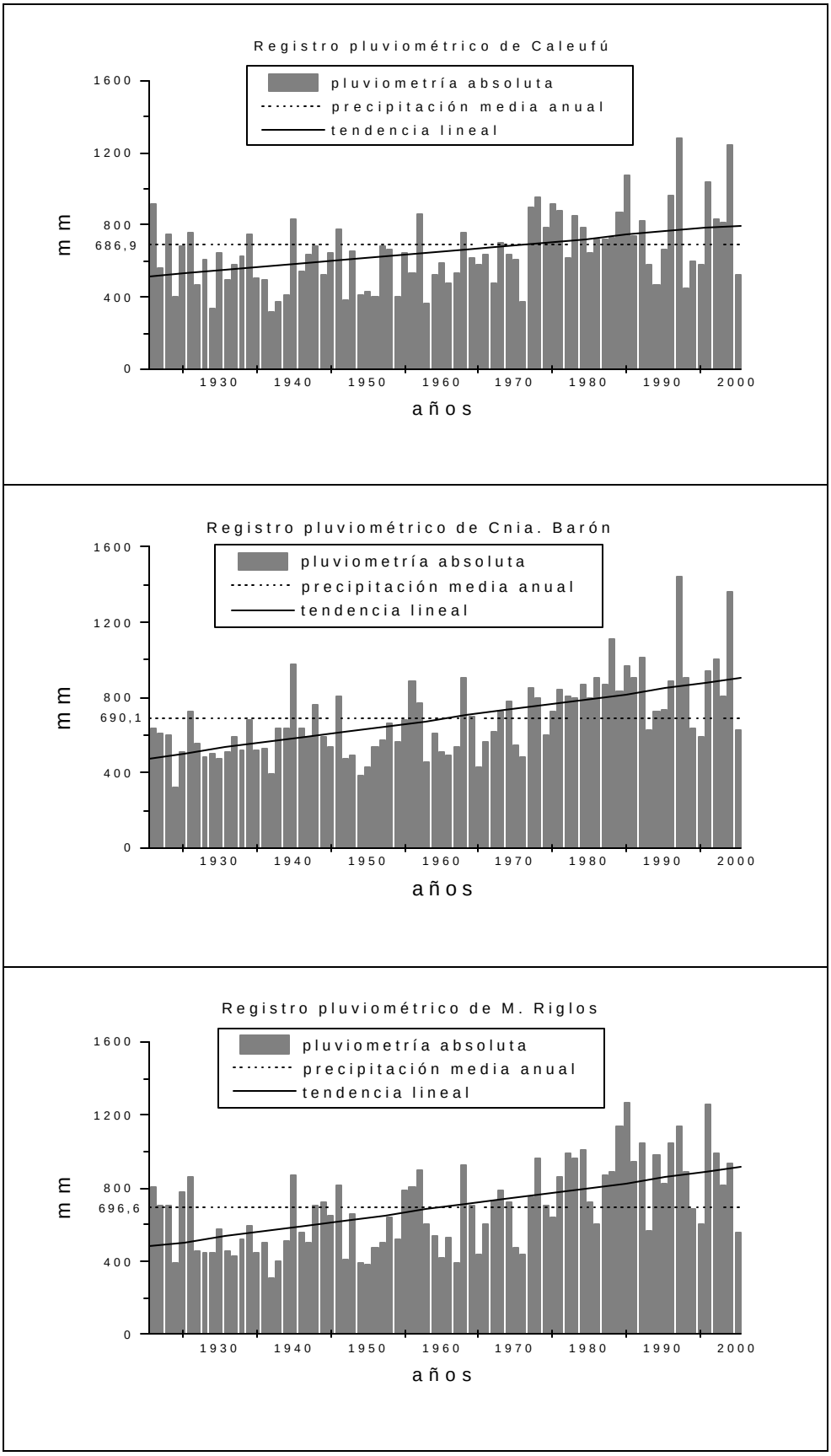

Registro pluviométrico de Gral. Acha
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
573,3
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Bernasconi
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
588,4
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Gral. San Martín
pluviometría asoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
594,9
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años

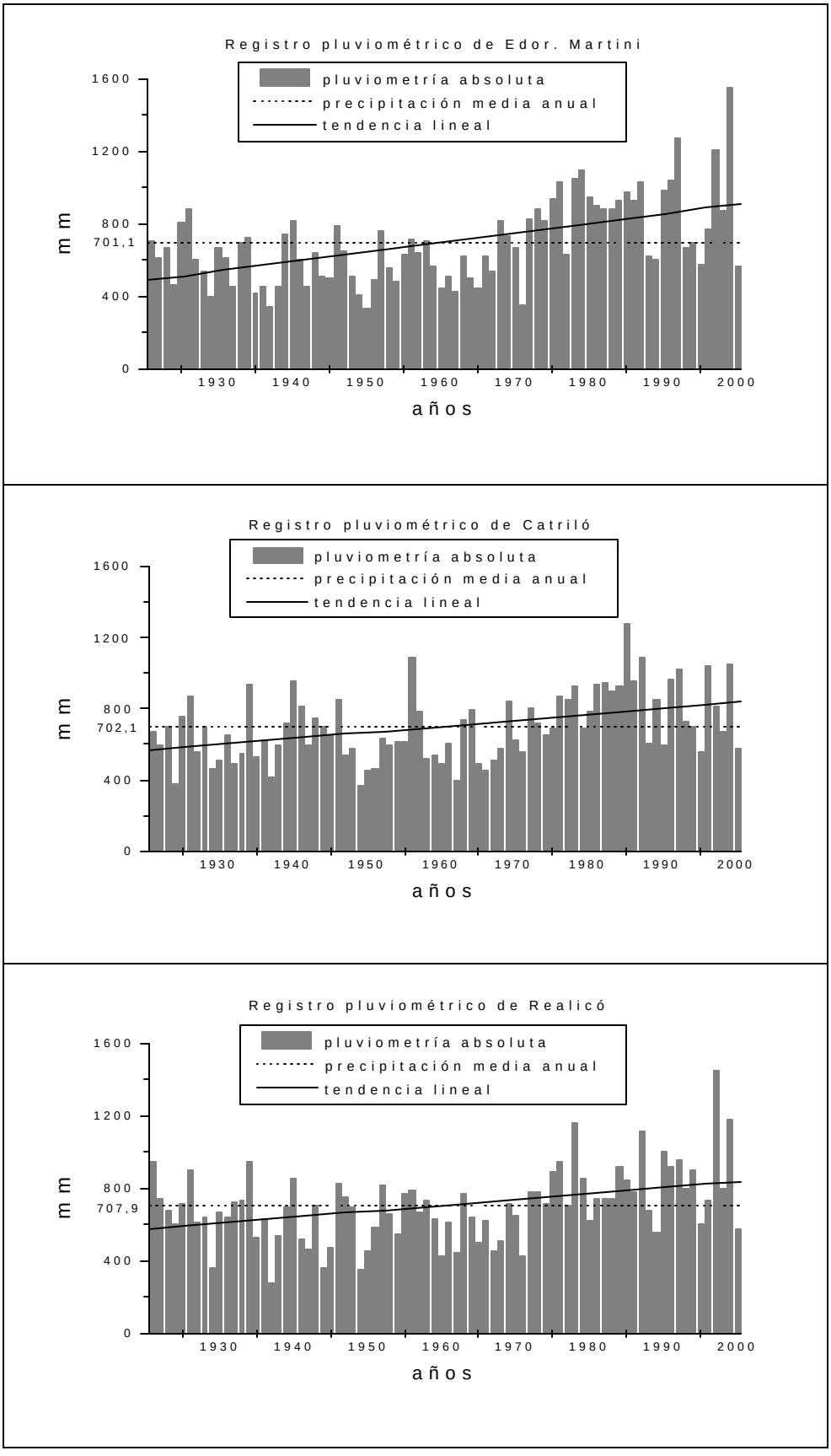

Registro pluviométrico de Quehué
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
602,5
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Luan Toro
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
619,2
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Santa Rosa
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
626,6
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años

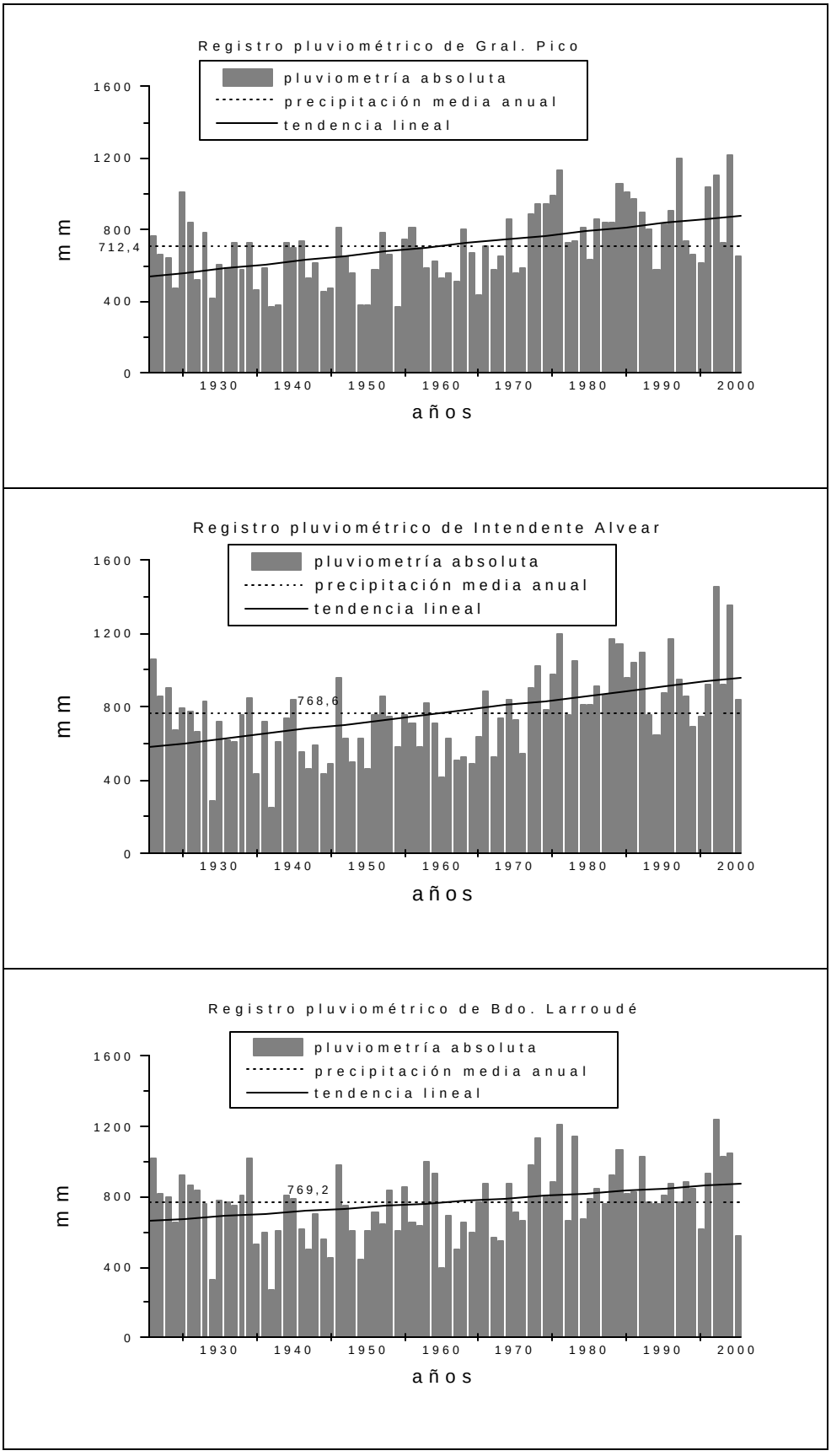

Registro pluviométrico de Guatraché
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
640,5
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Alpachiri
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
653,4
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Eduardo Castex
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
655,4
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años


Registro pluviométrico de Winifreda
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
655,9
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Macachín
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
660,8
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Conhelo
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
662,7
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
años


Registro pluviométrico de Ingeniero Luiggi
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
664,4
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Rancul
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
681,2
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Trenel
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
682,5
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años


Registro pluviométrico de Caleufú
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
686,9
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Cnia. Barón
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
690,1
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de M. Riglos
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
696,6
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años


Registro pluviométrico de Edor. Martini
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
701,1
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Catriló
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
702,1
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Realicó
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
707,9
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años


Registro pluviométrico de Gral. Pico
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
712,4
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Intendente Alvear
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
768,6
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años
Registro pluviométrico de Bdo. Larroudé
pluviometría absoluta
precipitación media anual
tendencia lineal
1600
1200
800
769,2
400
0
m m
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
2000
años