



FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

Universidad Nacional de La Pampa

Maestría en Recursos Hídricos

ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LAGUNAS PERMANENTES EN EL CENTRO-ESTE DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA

SANTA ROSA, LA PAMPA

Autor: Ing. Javier Schlegel

Director: Dr. Pablo Dornes

Codirectora: Mag. Pamela Pratts

6-7-2022

Agradezco especialmente,

A mi familia, sin ellos nada es posible.

A mi Director Pablo Dornes por su paciencia y dedicación hizo posible este trabajo.

A la Co-directora Pamela Prats.

A Nicolás Schiel por su tiempo y disponibilidad en ayudarme.

A la Secretaria de Recursos Hídricos y personal del mismo por su colaboración.

También, a las personas que me entregaron tiempo, esfuerzo y material,

Santiago Echaniz y Alicia Vignatti

Mónica Castro

José María Galea

Omar del Ponti

Carlos Gandhi

Carlos Schulz

ÍNDICE

RESUMEN	1
CAPÍTULO 1.....	2
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 2.....	6
OBJETIVOS E HIPOTESIS.....	6
2.1. <i>Objetivos</i>	6
2.1.1. Objetivo general	6
2.1.2. Objetivos específicos	6
2.2. <i>Hipótesis</i>	6
CAPÍTULO 3.....	8
ÁREA DE ESTUDIO.....	8
3.1. <i>Suelos y geomorfología</i>	9
3.2. <i>Clima, precipitación y evapotranspiración</i>	13
3.3. <i>Lagunas</i>	16
3.4. <i>Química y físico-química de las aguas superficiales y subterráneas</i>	17
3.5. <i>Superficie Piezométrica y Líneas de Flujo</i>	25
CAPÍTULO 4.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS	30
4.1 <i>Zonas de análisis</i>	30
4.1.1. Zona Meaucó	31
4.1.2. Zona Parque Luro	33
4.1.3. Zona Utracán	34
4.2. <i>Antecedentes e información recolectada</i>	36
4.2.1. Cartografía y modelos digitales de elevación	36
4.2.2. Variación del nivel freático	41
4.2.3. Datos meteorológicos.....	44
4.2.4. Isótopos	45
4.3. <i>Técnicas y equipos</i>	47
4.3.1. Equipos usados en campo	47
4.3.2. Métodos de muestreo y parámetros de campo	49
4.3.3. Métodos de laboratorios	49
4.4. <i>Métodos de cálculo</i>	51
4.4.1. Conductividad hidráulica	51
4.4.2. Evapotranspiración potencial	51
4.4.3. Estados tróficos	52
4.5. <i>Campañas de muestreo</i>	52
4.5.1. Zona Meaucó	52
4.5.2. Zona Parque Luro	54

4.5.3. Zona Utracán	56
4.6. Batimetrías	59
CAPÍTULO 5	64
RESULTADOS	64
5.1. <i>Relieve y escorrentía superficial</i>	64
5.1.1. Zona Meaucó	64
5.1.2. Zona Parque Luro	70
5.1.3. Zona Utracán	76
5.2. <i>Análisis hidrológico</i>	82
5.2.1. Mediciones en campo	82
5.2.2. Precipitación	86
5.2.3. Nivel freático	89
5.2.3. Evapotranspiración	102
5.3. <i>Hidroquímica</i>	106
5.4. <i>Análisis isotópico</i>	133
5.5. <i>Análisis limnológico</i>	138
5.6. <i>Modelo conceptual</i>	142
5.6.1. Relación escorrentía superficial y subterránea con las lagunas	142
5.6.2. Balance hídrico lagunar	146
CAPÍTULO 6	153
CONCLUSIONES	153
6.1. <i>Aspectos generales</i>	153
6.2. <i>Zona Meaucó</i>	153
6.3. <i>Zona Parque Luro</i>	154
6.4. <i>Zona Utracán</i>	155
BIBLIOGRAFÍA	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Ubicación de la Región de los Valles Transversales (RVT), en La Pampa y en Argentina. Esc. 1:1.500.000.....8

Figura 3.2: Representación de las unidades geomorfológicas que definen los principales Sistemas Hídricos en la RVT. Esc. 1:1.500.000.10

Figura 3.3: Perfiles esquemáticos de distintos valles de la RVT. Modificado Figura Nº 22 (IIRNLP, 1980). Escala vertical completada con interpretación representativa de perfiles cercanos en cada zona.11

Figura 3.4: Diagrama idealizado del paisaje – suelo en diferentes unidades cartográficas en la subregión de las mesetas y valles para la RVT. Figura Nº 203 (IIRNLP, 1980).11

Figura 3.5: Perfil estratigráfico de una perforación en la localidad de Chacharramendi, ubicado en el sector occidental de la RVT y que constituye una planicie medanosa13

Figura 3.6: Isohietas de precipitaciones media anuales para la RVT. Período 1921 al 2014, excepto Chacharramendi 1962 al 2014. Modificado de Figura I.5.5 del IRHLP (UNLPam, 2015). Esc. 1:1.500.000.14

Figura 3.7: Promedio anuales de la evapotranspiración potencial (línea continua amarilla, ETP) y real (línea en trazos amarilla, ETR) calculado por el método de Thornthwaite para la RVT, de las series de 1941 al 1960. Modificado de Figura Nº 8 (IIRNLP, 1980). Esc. 1:1.500.000.....15

Figura 3.8: Regiones Hídricas obtenidas del índice hídrico (IH) de Thornthwaite. Modificado del IIRNLP, Figura Nº 8 (Cano, 1980). Esc. 1:2.500.000.16

Figura 3.9: Lagunas Permanentes, Semipermanentes y Temporarias en la Región de los Valles Transversales (RVT). Adaptado de Figuras V.2.2, V.2.3 y V.2.4 del IRHLP (UNLPam, 2015). Esc. 1:1.500.000.....17

Figura 3.10: Lagunas muestreadas en el IRHLP para la RVT, indicadas con puntos azules. Modificado de Figura V.2.5 (UNLPam, 2015). Esc. 1:1.200.000.18

Figura 3.11: Diagrama de Piper, de las aguas superficiales de la RVT, del IRHLP. Figura V.2.6. (UNLPam, 2015).21

Figura 3.12: Pozos muestreadas en el IRHLP para la RVT, indicados con puntos negros. Modificado de Figura V.3.1 (UNLPam, 2015). Esc. 1:1.200.000.22

Figura 3.13: Diagrama de Piper, de las aguas subterráneas de la RVT, del IRHLP. Figura V.3.2 (UNLPam, 2015).25

Figura 3.14: Curvas equipotenciales en m s.n.m. (marrón) y líneas de flujo (azul) para la RVT (negro). Modificado de UNLPam (2015). Esc. 1:1.200.000.26

Figura 3.15: Curvas equipotenciales en m s.n.m. (marrón) y líneas de flujo (azul) para zona Meaucó. Rutas Provinciales (negro). Punto rojo: Laguna en zona Meaucó. Modificado de Giai y Tullio (1998). Esc. 1:500.000.27

Figura 3.16: Curvas equipotenciales en m s.n.m. (marrón) y líneas de flujo (azul) para zona Utracán, sector central del acuífero Valle Argentino. Rutas Provinciales (negro). Punto rojo: Laguna Utracán. Modificado de Giai y Tullio (1998). Esc. 1:250.000.28

Figura 3.17: Curvas equipotenciales en m s.n.m. (marrón) y líneas de flujo (azul) para la zona Utracán. Punto rojo: Laguna Utracán. Modificado de UNLPam (2017). Esc. 1:120.000.....29

Figura 4.1: Ubicación de las tres lagunas permanentes analizadas en la RVT. Zonas de análisis y su localización respecto de los valles trasversales que las contienen. Esc. 1:900.000.31

Figura 4.2: Laguna en la zona Meaucó. Foto agosto 2018.....32

Figura 4.3: Surgente y Laguna La Salada. Foto agosto 2018.....	33
Figura 4.4: Laguna de Utracán. Foto de agosto 2018.	35
Figura 4.5: Modelo digital de elevación (MDE) obtenido del Instituto Geográfico Nacional de la Argentina (IGN) para la RVT y las zonas de análisis. Esc. 1:80.000.	38
Figura 4.6: Carta Topográfica de Chacharramendi 1:100.000 (equidistancia: 10 m) y MDE del IGN de la zona Meaucó. Punto rojo señala la laguna en la zona Meaucó. Esc. 1:35.000.	39
Figura 4.7: Carta Topográfica 1:50.000 (equidistancia: 5 m) de la estancia La Segunda (color) y Naíco (blanco y negro), y MDE del IGN de la zona Parque Luro. Punto rojo señala la laguna en la zona Parque Luro. Esc. 1:40.000.	40
Figura 4.8: Carta Topográfica 1:50.000 (equidistancia: 5 m) de Utracán y MDE del IGN de la zona Utracán. Punto rojo señala la laguna en la zona Utracán. Esc. 1:60.000.....	41
Figura 4.9: Red de freáticos dispuestos en el cordón medanoso de la zona de Utracán a General Acha; FU6, FU7, FU8, FU9 y FU10. Punto rojo, laguna Utracán. Esc. 1:45.000.	42
Figura 4.10: Red de freáticos dispuestos en la zona del Meaucó; FM1, FM2, FM3 y FM4. Freatígrafo FM5. Laguna La Gitana. Punto rojo, laguna sin nombre de zona Meaucó. Esc. 1:180.000.....	43
Figura 4.11: Detalle de información meteorológica en el área de estudio. Negro: Estaciones meteorológicas Meaucó (EM) y A puro campo (EAPC). Marrón: estaciones pluviométricas (Chacharramendi, Ataliva Roca Quehué, Doblas y General Acha). Esc. 1:1.000.000.	44
Figura 4.12: Puntos donde se han recolectados isótopos estables de la molécula de agua de precipitaciones pluviales. El Escabel, Padre Buodo y Santa Rosa. Información del portal NUCLEUS del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Esc. 1:1.000.000.....	46
Figura 4.13: Medidor de oxígeno marca LUTRON modelo DO-5510 FEATURES. Oxígeno disuelto (OD), Oxígeno en aire (O ₂) y Temperatura (T).	47
Figura 4.14: Sonda graduada de 50 m para medir la profundidad del nivel freático.	48
Figura 4.15: Disco de Secchi (DS).	48
Figura 4.16: Medidor de conductividad eléctrica (CE) marca Thermo scientific modelo Orion 3 Star, y medidor de pH marca Testo modelo 206. Sólidos totales disueltos (STD) y Temperatura (T).	49
Figura 4.17: Zona Meaucó, puntos de muestreo M1 (agua subterránea) y M2 (agua superficial). Esc. 1:50.000.	53
Figura 4.18: Zona Parque Luro, puntos de muestreo S1, S2, S3, S4 (agua subterránea) y S5 (agua superficial). Esc. 1:200.000.	55
Figura 4.19: Zona Utracán, puntos de muestreo U1, U2, U3, U4, U5, y U7 (agua subterránea). U6 (agua superficial). Curvas equipotenciales en m s.n.m. (marrón) y línea de flujo (azul) para la zona Utracán. UNLPam (2017). Esc. 1:90.000.	57
Figura 4.20: Embarcación de la Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa (SRHLP) utilizada para realizar las batimetrías de las lagunas.....	60
Figura 4.21: Batimetría de la laguna en la zona Meaucó. Puntos azules indican información batimétrica en m s.n.m., relevados el 01/03/19. Curva de nivel de 300 m s.n.m. (marrón) interpolada del MDE. Esc.: 1:3.000.	61
Figura 4.22: Batimetría de La Salada en zona Parque Luro. Puntos azules indican información batimétrica en m s.n.m., relevados el 19/07/19. Curva de nivel de 116,1 m s.n.m. (marrón) interpolada del MDE. Esc.: 1:12.000.	62

Figura 4.23: Batimetría de Atracan en zona homónima. Puntos azules indican información batimétrica en m s.n.m., relevados el 14/05/19. Curva de nivel de 200,8 m s.n.m. (marrón) interpolada del MDE. Esc.: 1:10.000.	63
Figura 5.1: Zona Meaucó. Curvas de nivel con equidistancia de 1 m. Punto de medición en la laguna M2. Puntos azules relevados en la batimetría. Puntos negros de carta topográfica de Chacharramendi e información relevada de antecedentes. Esc. 1:10.000.	65
Figura 5.2: Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona Meaucó. En morado y azul depresión topográfica que contiene a la laguna en zona Meaucó. Esc. 1:10.000.	66
Figura 5.3: Relieve sombreado del MDE de la zona Meaucó. La laguna se indica con la curva de nivel de 300 m s.n.m. Esc. 1:10.000.	67
Figura 5.4: Imagen ilustrativa en tres dimensiones del MDE de la laguna en la zona Meaucó. En azul se resalta la depresión topográfica que contiene a la laguna. Eje vertical aumentado 10 veces. Vista de SO a NE. Esc. 1:10.000.	68
Figura 5.5: Planialtimetría de la zona Meaucó. Detalle de ubicación y perfiles de los cortes A-A' y B-B'. Se indican en los puntos de medición, la cota del pelo de agua y del nivel freático. Menor cota medida por batimetría (Y) de la laguna 296,4 m s.n.m. El 0 de X se ubica en el comienzo del corte que corresponde (A o B). Eje vertical aumentado 10 veces. Esc. 1:50.000.	69
Figura 5.6: Zona Parque Luro. Curvas de nivel con equidistancia de 5 m. Punto de medición en la laguna S5. Puntos azules relevados en la batimetría. Puntos negros de carta topográfica de la estancia La Segunda y Naicó, e información relevada de antecedentes. Esc. 1:50.000.....	70
Figura 5.7 Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona Parque Luro, laguna La Salada. En azul se resalta la depresión topográfica que contiene a la laguna La Salada. Esc. 1:50.000.....	71
Figura 5.8: Imagen ilustrativa en tres dimensiones del MDE de la zona Parque Luro. Se indica en azul la laguna La Salada. Eje vertical aumentado 10 veces. Vista de E a O. Esc. 1:25.000.....	72
Figura 5.9: Zona Parque Luro. Línea roja: Cuenca de aporte potencial al Arroyo Quehué que desemboca en la Laguna La Salada. Línea negra: cota pelo de agua para 116,1 m s.n.m. Esc. 1:500.000.	73
Figura 5.10: Planialtimetría de la zona Parque Luro. Detalle de ubicación y perfiles de los cortes A-A' y B-B'. Se indican los puntos de observación S3 (manantial) y S5 (laguna). Menor cota medida por batimetría (Y) de la laguna 114,55 m s.n.m. Eje vertical aumentado 10 veces. El 0 de X se ubica en el comienzo del corte que corresponde (A o B). Eje vertical aumentado 10 veces. Esc. 1:50.000.	75
Figura 5.11: Zona Utracán. Curvas de nivel con equidistancia de 3 m. Punto de medición en la laguna U6. Puntos azules relevados en la batimetría. Puntos negros de carta topográfica de Utracán, e información relevada de antecedentes. Esc. 1:20.000.	76
Figura 5.12: Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona Utracán, laguna Utracán. En celeste se indica la depresión topográfica que contiene a la laguna Utracán. Esc. 1:20.000.....	77
Figura 5.13: Imagen ilustrativa en tres dimensiones del MDE de la laguna de Utracán. Eje vertical aumentado en 10 veces. Vista de E a O. Esc. 1:5.000.	78
Figura 5.14: Zona Utracán. Línea roja: Cuenca de aporte directo. Línea roja punteada: Cuenca de aporte potencial. Línea marrón separación faldón de meseta y pie de cordón medanoso. Línea negra: Laguna Utracán para cota 200,8 m s.n.m. Círculo marca separación natural con cota 218 m s.n.m. Esc. 1:35.000.	79

Figura 5.15: Planialtimetría de la zona Utracán. Detalle de ubicación y perfiles de los cortes A-A' y B-B'. Se indican los puntos de observación U3 y U7 (planicie), y U6 (laguna). Menor cota medida por batimetría (Y) de la laguna 199,7 m s.n.m. Eje vertical aumentado 10 veces. El 0 de X se ubica en el comienzo del corte que corresponde (A o B). Eje vertical aumentado 10 veces. Esc. 1:100.000.....	81
Figura 5.16: Precipitaciones media anual de las localidades de Quehué, Ataliva Roca, Chacharramendi, General Acha y Doblas; y precipitación anual de los años 2017 y 2018. Intervalos de las series históricas en Tabla 4.5.	86
Figura 5.17: Precipitaciones semestrales para las localidades de Quehué, Ataliva Roca, Chacharramendi, General Acha y Doblas. Desde enero del 2017 hasta junio del 2019.	87
Figura 5.18: Precipitaciones mensuales para la Estancia Meaucó y localidad de Chacharramendi.	87
Figura 5.19: Zona Meaucó. Freatímetros FM1, FM2, FM3 y FM4 (verde); Freatígrafo FM5 (verde). Estación meteorológica (Est. Meaucó, negro). Laguna analizada M2 (rojo). Esc. 1:200.000.....	90
Figura 5.20: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático en los Freatímetros FM1, FM2, FM3 y FM4. Precipitación mensual de la estación meteorológica (Est. Meaucó) completada con la localidad de Chacharramendi. .	91
Figura 5.21: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático, Freatígrafo FM5. Precipitación mensual de Chacharramendi (verde). Precipitación diaria de la estación meteorológica (violeta).	92
Figura 5.22: Freatímetros (FU7, FU8, FU9 y FU10), y puntos de medición U4 y U6, en Valle Argentino. Curvas equipotenciales (amarillo) para la zona Utracán (m s.n.m.). UNLPam (2017). Esc.1:50.000.....	93
Figura 5.24: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático, freatómetro FU8 (puntos en azul). Precipitación mensual de General Acha (celeste). <i>t</i> : tiempo de respuesta NF. Cota de la superficie de terreno 217,8 m s.n.m.	95
Figura 5.25: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático, freatómetro FU9 (puntos en azul). Precipitación mensual de General Acha (celeste). <i>t</i> : tiempo de respuesta NF. Cota de la superficie de terreno 215,7 m s.n.m.	96
Figura 5.26: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático, freatómetro FU10 (puntos en azul). Precipitación mensual de General Acha (celeste). <i>t</i> : tiempo de respuesta NF. Cota de la superficie de terreno 204,7 m s.n.m.	97
Figura 5.27: Puntos de muestreo U1, U3 y U7. Curvas equipotenciales (amarillo) para la zona Utracán (m s.n.m.). UNLPam (2017). Esc. 1:100.000.	99
Figura 5.28: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático de los puntos U1 y U3. Precipitación mensual en Quehué desde el 01/17 al 06/19 (negro). Promedio de precipitación mensual de la serie 1921 al 2016 para la localidad de Quehué (celeste).	100
Figura 5.29: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático de los puntos S2 y S4. Precipitación mensual en Ataliva Roca desde el 01/17 al 06/19 (negro). Promedio de precipitación mensual de la serie 1921 al 2016 para la localidad de Ataliva Roca (celeste).	101
Figura 5.30: Estaciones meteorológicas automáticas Estancia Meaucó (EM) y A Puro Campo (EAPC). Puntos de medición en lagunas (M2, S5 y U6). En amarillo Isolíneas de ETP de 800 y 780 mm del IIRNLP, 1980. Esc. 1:1.000.000.	102
Figura 5.31: Temperaturas medias mensuales cronológicas de las Estaciones Meaucó (EM) y A puro campo (EAPC) para los 30 meses analizados (1/17 al 6/19).	103
Figura 5.32: Evapotranspiración Potencial (ETP) calculada por Thornthwaite para las Estaciones Meaucó (EM) y A puro campo (EAPC) para los 30 meses analizados (1/17 al 6/19).	104

Figura 5.33: Diagrama de Piper correspondiente a M1 (agua subterránea) y M2 (agua superficial) de la zona Meaucó.	110
Figura 5.34: Diagrama de Piper correspondiente a S1, S2, S3, y S4 (agua subterránea) y S5 (agua superficial) de la zona Parque Luro.	121
Figura 5.35: Diagrama de Piper correspondiente a U2, U3, U4, U5, y U7 (agua subterránea) y U6 (agua superficial) de la zona Utracán.	132
Figura 5.36: Valores de isótopos de la molécula estable de agua ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ y $\delta^2\text{H}\text{‰}$), de las precipitaciones en Padre y Santa Rosa de la OIEA (www.iaea.org , 2021). Líneas meteóricas locales obtenidas de los puntos de Padre Buodo (rojo) y Santa Rosa (azul). Recta meteórica global (negro).	135
Figura 5.37: Composición isotópica ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ y $\delta^2\text{H}\text{‰}$), de los sitios de agua superficial y subterráneos muestreados. Zona Meaucó (violeta), zona Parque Luro (celeste) y zona Utracán (verde). Se indica la recta meteórica global (negro) y el ajuste de una recta de evaporación (amarillo).	136
Figura 5.38: Composición isotópica ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$) y CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), de los sitios de agua subterránea muestreados. Zona Meaucó (violeta), zona Parque Luro (celeste) y zona Utracán (verde).	137
Figura 5.39: Composición isotópica ($\delta^2\text{H}\text{‰}$ y $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$) y Cl^- (meq/L), de los sitios de agua subterránea muestreados. Zona Meaucó (violeta), zona Parque Luro (celeste) y zona Utracán (verde).	138
Figura 5.40: Perfil transversal de la zona del Meaucó correspondiente al corte A-A' de la Figura 5.5. NF esquemático.	144
Figura 5.41: Perfil transversal de la zona de La Salada correspondiente al corte B-B' de la Figura 5.10. NF esquemático.	144
Figura 5.42: Perfil transversal de la zona Utracán correspondiente al corte A-A' de la Figura 5.15. Con el NF de Figura 3.17.	145
Figura 5.43: Modelo hidrológico conceptual de la laguna en zona Meaucó utilizado en el planteamiento del balance hídrico (BH). Precipitación (P), Evaporación (EV), Escurrimiento subterráneo (EG) y Variación de volumen de la laguna (dV).	146
Figura 5.44: Área de la laguna La Salada. a) extensión de la laguna superada la cota umbral de 116,1 m s.n.m. (03/18) , y b) extensión de la laguna, de carácter permanente, con una cota inferior a 116,1 m s.n.m. (02/21). Imágenes Google Earth. Esc.: 1:33.000.	148
Figura 5.45: Modelo hidrológico conceptual de la laguna La Salada utilizado en el planteamiento del balance hídrico (BH). Se detallan distintos umbrales topográficos que definen diferentes áreas de derrame. Precipitación (P), Evaporación (EV), Escurrimiento subterráneo (EG), Esorrentía superficial encauzada (ESE), Esorrentía superficial difusa (ESD) y Variación volumen de la laguna (dV).	149
Figura 5.46: Modelo hidrológico conceptual de la laguna Utracán utilizado en el planteamiento del balance hídrico (BH). Precipitación (P), Evaporación (EV), Escurrimiento subterráneo (EG), Esorrentía superficial encauzada (ESE), Esorrentía superficial difusa (ESD) y Variación volumen de la laguna (dV).	151

Tabla 3.1: Promedio y rango de concentración de las variables de mayor interés, en muestras de agua superficial. Valores en mg/L, excepto en los casos especificados (*parámetros medidos en campo). Modificado de la Tabla V.2.2 del IRHLP (UNLPam, 2015).	19
Tabla 3.2: Diferencia de los valores máximos y mínimos respecto al promedio de las variables consideradas en el IRHLP para la RVT. Datos de Tabla 3.1, para agua superficial. Valores en mg/L, excepto en los casos especificados (*parámetros medidos en campo).	20
Tabla 3.3: Promedio y rango de concentración de las variables de mayor interés, en muestras de agua subterránea. Valores en mg/L, excepto en los casos especificados (*parámetros medidos en campo). Modificado de la Tabla V.3.1 del IRHLP (UNLPam, 2015).	23
Tabla 3.4: Diferencia de los valores máximos y mínimos respecto al promedio de las variables consideradas en el IRHLP para la RVT. Datos de Tabla 3.3, para agua subterránea. Valores en mg/L, excepto en los casos especificados (*parámetros medidos en campo).	24
Tabla 4.1: Clasificación de los cuerpos lagunares en función de la concentración de sales (Hammer, 1986).	30
Tabla 4.2: Cartas topográficas de catastro, Provincia de La Pampa, para las zonas de estudio Meaucó, Parque Luro y Utracán. Proyección Gauss-Krüger. El valor de la equidistancia de las curvas de nivel se encuentra en metros.	37
Tabla 4.3: Coordenadas Geográficas de los freáticos ubicados en el cordón medanoso desde Utracán a General Acha. Fecha de inicio del registro 1981. Cotas extraídas del MDE en m s.n.m.	42
Tabla 4.4: Coordenadas Geográficas de los freáticos (FM1, FM2, FM3, y FM4) y el freático (FM5) ubicados en la zona del Meaucó. Cota de boca de pozo de la APA en m s.n.m.	43
Tabla 4.5: Estaciones meteorológicas, Estancia Meaucó (EM) y Estancia A puro campo (EAPC). Estaciones pluviométricas.	45
Tabla 4.6: Estaciones en la Provincia de La Pampa donde se registró el contenido de isótopos estables de la molécula de agua de precipitación.	46
Tabla 4.7: Técnicas analíticas de laboratorios utilizadas para los parámetros en las muestras de agua.	50
Tabla 4.8: Indicador de la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE). Fósforo total (PT), media anual eufótica de clorofila a ($Chl a_{md}$), máximo anual de clorofila a ($Chl a_{mx}$) y profundidad media anual de DS_m .	52
Tabla 4.9: Descripción y ubicación de los sitios de muestreo en la zona Meaucó.	54
Tabla 4.10: Muestreos efectuados en la zona Meaucó. Se detallan los sitios, fechas y análisis realizados.	54
Tabla 4.11: Descripción y ubicación de los sitios de muestreo en la zona Parque Luro.	55
Tabla 4.12: Muestreos efectuados en la zona Parque Luro. Se detallan los sitios, fechas y análisis realizados.	56
Tabla 4.13: Descripción y ubicación de los sitios de muestreo en la zona Utracán.	58
Tabla 4.14: Muestreos efectuados en la zona Utracán. Se detallan los sitios, fechas y análisis realizados.	59
Tabla 5.1: Valores de cotas absolutas en la zona Meaucó.	68
Tabla 5.2: Valores de cotas absolutas de puntos relevantes en la zona de La Salada.	74
Tabla 5.3: Valores de cotas absolutas de puntos relevantes en la zona de Utracán.	80
Tabla 5.4a: Punto de muestreo del agua subterránea (M1) en la zona Meaucó, valores determinados en campo para cada estación del año. Características y coordenadas del punto en Tabla 4.9.	82

Tabla 5.4b: Laguna en la zona Meaucó (M2), valores determinados en campo para cada estación del año. Oxígeno disuelto (OD), disco de Secchi (DS) y conductividad eléctrica (CE). Características y coordenadas del punto en Tabla 4.9.	82
Tabla 5.5a: Puntos de muestreo del agua subterránea (S1, S2, S3 y S4) en la zona Parque Luro, valores determinados en campo para cada estación del año. Características y coordenadas de los puntos en Tabla 4.11.....	83
Tabla 5.5b: Laguna La Salada (S5), valores determinados en campo para cada estación del año. Oxígeno disuelto (OD), disco de Secchi (DS) y conductividad eléctrica (CE). Características y coordenadas del punto en Tabla 4.11.	84
Tabla 5.6a: Puntos de muestreo del agua subterránea (U1, U2, U3, U4, U5 y U7) en la zona Utracán, valores determinados en campo para cada estación del año. Características y coordenadas de los puntos en Tabla 4.12.	85
Tabla 5.6b: Laguna Utracán (U6), valores determinados en campo para cada estación del año. Oxígeno disuelto (OD), disco de Secchi (DS) y conductividad eléctrica (CE). Características y coordenadas del punto en Tabla 4.12.	85
Tabla 5.7: Precipitaciones mensuales (01/17 – 06/19) en milímetros para la Estancia Meaucó, Chacharramendi y la resultante de la combinación.....	88
Tabla 5.8: Precipitaciones mensuales (01/17 – 06/19) en milímetros para las localidades de Ataliva Roca, Quehué, Chacharramendi y General Acha.....	89
Tabla 5.9: Comparación de valores de conductividad hidráulica saturada (Ks) para diferentes texturas y contenidos de humedad residual (θ_r) y de saturación (θ_s) según Carsel y Parrish (1988), y los valores obtenidos de conductividad hidráulica promedio (K) para los freáticos en el Valle Argentino.	98
Tabla 5.10: Temperatura (T) y Evapotranspiración Potencial (ETP) calculada por Thornthwaite para las Estaciones Meaucó (EM) y A Puro Campo (EAPC) para los 30 meses analizados (1/17 al 6/19).....	105
Tabla 5.11a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo M1 (agua subterránea) y M2 (laguna) en la zona Meaucó. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Carbonatos (AC), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{2-}), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Potasio (K^+), Sodio (Na^+), Flúor (F^-), Arsénico (As), Nitrato (NO_3^-), Nitrito (NO_2^-).	107
Tabla 5.11b: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo M1 (agua subterránea) y M2 (laguna) en la zona Meaucó. Amonio (NH_4^+), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO_2), Fosforo (PO_4^{2-}), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Coliformes Termotolerante (CT), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Escherichia Coli (EC), Pseudomona Aeruginosa (PA).....	108
Tabla 5.11c: Promedio de los valores fisicoquímicos en la zona Meaucó. M1 (agua subterránea) y M2 (laguna). pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{2-}), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Potasio (K^+), Sodio (Na^+), Flúor (F^-), Arsénico (As), Nitrato (NO_3^-), Nitrito (NO_2^-), Amonio (NH_4^+), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO_2), Fosforo (PO_4^{2-}), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT).	109
Tabla 5.12a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo S1 y S2 (agua subterránea) en la zona Parque Luro. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Carbonatos (AC), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl^-), Sulfato (SO_4^{2-}), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Potasio (K^+), Sodio (Na^+), Flúor (F^-), Arsénico (As), Nitrato (NO_3^-), Nitrito (NO_2^-).	114
Tabla 5.12b: Valores físico-químicos de los sitios de muestreo S1 y S2 (agua subterránea) en la zona Parque Luro. Amonio (NH_4^+), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO_2), Fosforo (PO_4^{2-}), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total	

(NT), Coliformes Termotolerante (CT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Escherichia Coli (EC), Pseudomona Aeruginosa (PA).....	115
Tabla 5.13a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo S3 y S4 (agua subterránea) en la zona Parque Luro. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Carbonatos (AC), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl ⁻), Sulfato (SO ₄ ²⁻), Calcio (Ca ²⁺), Magnesio (Mg ²⁺), Potasio (K ⁺), Sodio (Na ⁺), Flúor (F ⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO ₃ ⁻), Nitrito (NO ₂ ⁻).	116
Tabla 5.13b: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo S3 y S4 (agua subterránea) en la zona Parque Luro. Amonio (NH ₄ ⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO ₂), Fosforo (PO ₄ ²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Coliformes Termotolerante (CT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Escherichia Coli (EC), Pseudomona Aeruginosa (PA).....	117
Tabla 5.14: Valores fisicoquímicos del sitio de muestreo S5 en la laguna La Salada. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl ⁻), Sulfato (SO ₄ ²⁻), Calcio (Ca ²⁺), Magnesio (Mg ²⁺), Potasio (K ⁺), Sodio (Na ⁺), Flúor (F ⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO ₃ ⁻), Nitrito (NO ₂ ⁻), Amonio (NH ₄ ⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO ₂), Fosforo (PO ₄ ²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Coliformes Termotolerante (CT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Escherichia Coli (EC).....	118
Tabla 5.15: Promedio de los valores fisicoquímicos en la zona Parque Luro. S1, S2, S3, S4 (agua subterránea), S5 (agua superficial). pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl ⁻), Sulfato (SO ₄ ²⁻), Calcio (Ca ²⁺), Magnesio (Mg ²⁺), Potasio (K ⁺), Sodio (Na ⁺), Flúor (F ⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO ₃ ⁻), Nitrito (NO ₂ ⁻), Amonio (NH ₄ ⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO ₂), Fosforo (PO ₄ ²⁻), Fosforo Total(PT), Nitrógeno Total (NT).	120
Tabla 5.16a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U3 y U7 (agua subterránea) en la zona Utracán. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl ⁻), Sulfato (SO ₄ ²⁻), Calcio (Ca ²⁺), Magnesio (Mg ²⁺), Potasio (K ⁺), Sodio (Na ⁺), Flúor (F ⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO ₃ ⁻), Nitrito (NO ₂ ⁻).	125
Tabla 5.16b: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U3 y U7 (agua subterránea) en la zona Utracán. Amonio (NH ₄ ⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO ₂), Fosforo (PO ₄ ²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Escherichia Coli (EC), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Coliformes Termotolerante (CT), Pseudomona Aeruginosa (PA).	126
Tabla 5.17a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U2 y U4 (agua subterránea) en la zona Utracán. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Carbonatos (AC), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl ⁻), Sulfato (SO ₄ ²⁻), Calcio (Ca ²⁺), Magnesio (Mg ²⁺), Potasio (K ⁺), Sodio (Na ⁺), Flúor (F ⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO ₃ ⁻), Nitrito (NO ₂ ⁻).	127
Tabla 5.17b: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U2 y U4 (agua subterránea) en la zona Utracán. Amonio (NH ₄ ⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO ₂), Fosforo (PO ₄ ²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Escherichia Coli (EC), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Pseudomona Aeruginosa (PA).....	128
Tabla 5.18a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U5 (agua subterránea) y U6 (agua superficial) en la zona Utracán. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Carbonatos (AC), Alcalinidad de	

Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl ⁻), Sulfato (SO ₄ ²⁻), Calcio (Ca ²⁺), Magnesio (Mg ²⁺), Potasio (K ⁺), Sodio (Na ⁺), Flúor (F ⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO ₃ ⁻), Nitrito (NO ₂ ⁻).....	129
Tabla 5.18b: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U5 (agua subterránea) y U6 (agua superficial) en la zona Utracán. Amonio (NH ₄ ⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO ₂), Fosforo (PO ₄ ²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Coliformes Termotolerante (CT), Escherichia Coli (EC), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Pseudomona Aeruginosa (PA).....	130
Tabla 5.19: Promedio de los valores fisicoquímicos en la zona Utracán. U2, U3, U4, U5 y U7 (agua subterránea), U6 (agua superficial). pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl ⁻), Sulfato (SO ₄ ²⁻), Calcio (Ca ²⁺), Magnesio (Mg ²⁺), Potasio (K ⁺), Sodio (Na ⁺), Flúor (F ⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO ₃ ⁻), Nitrito (NO ₂ ⁻), Amonio (NH ₄ ⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO ₂), Fosforo (PO ₄ ²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT).....	131
Tabla 5.20: Conductividad Eléctrica (CE) e Isótopos estables de molécula de agua ($\delta^{18}\text{O}\%$ y $\delta^2\text{H}\%$), de los sitios muestreados. Valores determinados por el laboratorio GEA, Instituto de Matemática Aplicada San Luis UNSL – CONICET. Lugar de la muestra, agua superficial (Sp), agua subterránea (Sb).....	134
Tabla 5.21: Variables limnológicas de las lagunas en las zonas Meaucó, Parque Luro y Utracán. Transparencia (DS), pH, Residuo seco (RS), Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno disuelto (OD), Clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>), Fosforo total (PT) y Nitrógeno total (NT).....	140
Tabla 5.22: Estado trófico (ET) de las lagunas en zona Meaucó, La Salada y Utracán para el año 2018. TSI _{DS} : Índice dependiente de la profundidad de visión del DS, TSI _{PT} : índice dependiente de las concentraciones de PT, TSI _{Chl <i>a</i>} : índice dependiente de la clorofila <i>a</i> , y TSI: índice del estado trófico promedio.	141
Tabla 5.23: Estado trófico (ET) de las lagunas en zona Meaucó, La Salada y Utracán para el año 2018, de acuerdo al índice OCDE. PT: fósforo total, Chl <i>a</i> _{md} : media anual de clorofila <i>a</i> , Chl <i>a</i> _{mx} : máximo anual de clorofila <i>a</i> , y DS _m : profundidad media anual.....	141
Tabla 5.24: Balance hídrico (BH) de la laguna en zona Meaucó. Precipitación (P), Evaporación (EV), Diferencia de la precipitación y evaporación (P-EV), diferencia de la precipitación y evaporación acumulada (Pa-EVa), Variación del volumen de la laguna (dV), Escorrentía subterránea acumulada (EGa), Escorrentía subterránea (EG).....	147
Tabla 5.25: Balance hídrico (BH) de la laguna La Salada. Precipitación (P), Evaporación (EV), diferencia de la precipitación y evaporación (P-EV), diferencia de la precipitación y evaporación acumulada (Pa-EVa), Variación del volumen de la laguna (dV), Excedentes/déficits (E/D), Escorrentía subterránea (EG).....	150
Tabla 5.26: Balance hídrico (BH) de la laguna Utracán. Precipitación (P), Evaporación (EV), diferencia de la precipitación y evaporación (P-EV), diferencia de la precipitación y evaporación acumulada (Pa-EVa), Variación del volumen de la laguna (dV), Escorrentía subterránea acumulada (EGa), Escorrentía subterránea (EG), Escorrentía superficial difusa (ESD).....	152

RESUMEN

La Región de los Valles Transversales, con una superficie total de 31.052,7 km², es una de las Regiones Hídricas más extensas de la Provincia de La Pampa. Dentro de la misma se seleccionaron tres zonas con sus correspondientes lagunas de características hidrológicas contrastantes dadas por la topografía, morfología superficial, tipos de suelo y la ocurrencia de escurrimientos superficiales y subterráneos. Las lagunas identificadas fueron: laguna en zona Meaucó que no posee denominación, laguna La Salada en zona Parque Luro y laguna de Utracán en la zona homónima.

El objetivo fue analizar la permanencia de estas tres lagunas en distintos ambientes a partir del estudio de la interacción agua superficial subterránea considerando los aspectos topográficos, hidroquímicos, isotópicos y limnológicos y proponer un modelo de funcionamiento hidrológico.

Se realizaron tareas en gabinete, mediciones a campo y determinaciones en laboratorio. En gabinete se efectuó la recolección de antecedentes, se confeccionaron los modelos digitales de elevación y se procesaron los datos meteorológicos e hidráulicos de las perforaciones existentes en el área. In situ, se realizaron mediciones batimétricas, censos de pozos, medición de tirante de agua en las lagunas, medición de transparencia y colección de muestras de agua superficial y subterránea para determinaciones fisicoquímicas, isotópicas y limnológicas, efectuadas en laboratorio.

En la laguna de la zona Meaucó, se observa que es el flujo subterráneo local con recarga directa de las precipitaciones, el que alimenta a la laguna, compensa las pérdidas por evaporación y le confiere una tipificación de subsalina. Esto es consecuencia de la cobertura eólica, que favorece la infiltración del agua meteórica y genera niveles freáticos someros que intersectan el terreno en las depresiones intermédano. La laguna La Salada, debido a su ubicación en una gran depresión topográfica en el extremo distal del Valle de Quehué, recibe aportes de flujo subterráneo regional, diferido respecto a la precipitación. Esto define características hipersalinas extrema. La laguna de Utracán ubicada en un flanco del Valle Argentino, entre el cordón medanoso y la meseta, debe su permanencia a la mezcla de un flujo local del cordón medanoso y de un flujo regional de la meseta. De esta manera, la descarga en el cuerpo de agua y sus características hidroquímicas, fluctúan en relación al flujo predominante.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La región pampeana se caracteriza por relieve llano que resulta en bajos gradientes hidráulicos y la falta de sistemas de drenaje definidos. En periodos húmedos, los excesos de precipitación se manifiestan en ascenso de los niveles freáticos. En tales circunstancias, la descarga acuífera y en menor medida la escorrentía superficial hacia áreas deprimidas resulta en la formación de numerosas lagunas que dependiendo de las características de la topografía local puede dar lugar a la interconexión de áreas deprimidas. Así, la ocurrencia de lagunas está relacionada a escenarios de excedentes hídricos pudiendo conformar grandes áreas anegadas (Ussunoff et al., 1999; Kruse y Zimmermann, 2002; Dornes et al., 2016).

En cuanto a la dinámica del agua, en la región pampeana, la misma se caracteriza por un notorio predominio de los movimientos verticales respecto de los laterales, por lo que dominan los procesos de infiltración, evapotranspiración y oscilación de la superficie freática, sobre el flujo lateral (Sala et al., 1983).

En contraste, la región pampeana occidental se caracteriza por menores valores de precipitación que resultan frecuentemente en marcados períodos de sequía y niveles freáticos generalmente más profundos. Sin embargo, como consecuencia de la existencia de un relieve ondulado con importantes pendientes locales, se evidencian en respuesta a eventos pluviométricos, procesos de escorrentía superficial y subsuperficial generalmente hacia depresiones (Secco et al. 2013; Dornes et al., 2014). El clima de la región pampeana occidental se caracteriza por ser templado continental con gradiente pluviométrico de subhúmedo al NE a semiárido al SO de la provincia de La Pampa. Los factores determinantes del clima son la latitud, la circulación general atmosférica, la existencia de un relieve llano, y la distancia al mar; mientras que los elementos más relevantes son la temperatura, la precipitación, los vientos y la humedad atmosférica. Como factores limitantes para La Pampa, se destacan las bajas precipitaciones y las altas temperaturas que típicamente generan marcados déficits hídricos estacionales (Casagrande y Conti, 1980).

Como resultado, del balance hídrico, la región Centro y NE de la provincia por su mayor oferta hídrica y calidad, se constituyen en la zona de mayor producción. Al NE de la provincia, en respuesta a un balance hídrico frecuentemente positivo y a la ocurrencia de extensos mantos arenosos, se caracteriza por la presencia de numerosas lagunas, niveles freáticos someros y la ausencia de cursos de agua permanentes. La región central ubicada en áreas de planicie estructural presenta niveles freáticos más profundos donde la ocurrencia de lagunas está asociada a depresiones locales o a los extensos Valles Transversales que la surcan en sentido SO a NE. Hacia el O, por el

contrario las expresiones superficiales son mucho menos importantes y casi nulas las mayorías de los años.

La ocurrencia de lagunas en la región pampeana occidental muestra una estrecha relación con la dinámica del ciclo hidrológico que se manifiesta en un notable incremento de su número y extensión en períodos húmedos, y una marcada disminución en períodos secos. Sin embargo, dicho efecto no es uniforme y es más notorio en determinados sectores o áreas (Dornes et al., 2014 y 2016).

Si bien el escurrimiento subterráneo regional es de O hacia el E, la configuración geomorfológica determina distintas situaciones en la dinámica del agua subterránea. Las formas elevadas del relieve se comportan como áreas de recarga, en tanto que las depresiones de ubicación intermedanas actúan como áreas de descarga, formando lagunas o bañados, permanentes o temporales. Las áreas de conducción se localizan en los sectores intermedios entre los anteriores, tienen un relieve predominantemente llano y con pendiente oriental (Dornes et al., 2014 y 2016).

Las zonas de recarga constituyen importantes áreas acuíferas para la región, al ser aguas aptas para consumo humano, siendo algunas de ellas objetos de explotación intensiva o parcial. Las características hidroquímicas generalmente se mantienen hasta profundidades de 25 o 30 m, más allá de los cuales, si bien se mantiene un contenido salino apropiado, se hace notorio el incremento tanto de flúor como de arsénico. Las aguas de descarga, por el contrario, resultan en muchos sectores, prácticamente inaprovechables para consumo humano, tanto por los elevados tenores salinos o por excesos marcados de los oligoelementos mencionados, aun en aguas de moderada salinidad (Giai y Tullio, 1998).

De acuerdo al Inventario de los Recursos Hídricos de La Pampa (IRHLP, UNLPam, 2015) la ocurrencia de lagunas, y su comportamiento hidrológico, pueden agruparse en cuatro tipos principales según su topografía y geoformas, su relación con el régimen pluviométrico y su interacción con el agua subterránea.

1) Lagunas en áreas de intermedanos: su ocurrencia se manifiesta en áreas de cobertura arenosa. Las lagunas que se ubican en depresiones intermedanos, son muy numerosas en años húmedos como respuesta a la pluviometría directa y a la descarga local del agua subterránea de los médanos que las contienen. No poseen una red de drenaje superficial definida. Son típicamente de carácter semipermanente o temporario, dado que en períodos secos al descender el nivel freático y por efecto de la evaporación suelen desaparecer. La calidad de sus aguas suele apta para todos los usos.

2) Lagunas en cordones medanosos ubicados en valles: Estas lagunas se localizan en cordones medanosos ubicados a lo largo de los Valles Transversales. En este caso se diferencian las lagunas dentro del cordón medanoso y aquellas ubicadas en sus flancos contenidas contra el talud del valle,

o área de descarga de los cordones medanosos. Estas suelen ser de carácter permanente y pueden alinearse interconectándose en períodos húmedos como ocurre en el Valle Argentino, más precisamente en el valle de Utracán. La calidad del agua es variable.

3) Lagunas en áreas de planicie: estas lagunas se localizan en depresiones ubicadas en la planicie estructural. En general no poseen un área de aporte superficial ni patrones de drenaje definidos. Conforman un conjunto de lagunas independientes. Dichas lagunas pueden o no estar vinculadas al nivel freático dependiendo de su ubicación topográfica local, y no son de gran extensión. Son típicamente de carácter temporario o semipermanente y la calidad del agua es variable, típicamente mesosalinas o hipersalina producto de la evaporación. Estas lagunas se ubican por ejemplo en la planicie entre los Valles Transversales.

4) Lagunas como nivel de base de sistemas hídricos: Estas lagunas se ubican en marcadas depresiones topográficas en el sector terminal de los Valles Transversales o en extensas cubetas de deflación que actúan como nivel de base del flujo subterráneo. Pueden poseer una red de drenaje superficial definida, aunque es mayormente inactiva. Por encontrarse en áreas de descarga acuífera, conforman salinas siendo clasificadas como hipersalinas extremas. Su carácter es mayoritariamente permanente.

En dicho Inventario de los Recursos Hídricos se analizó la condición hidrológica de las lagunas de acuerdo a información histórica y a imágenes satelitales correspondientes al periodo 2013, y su comparación con los periodos húmedos y secos de 2001 y 2009 respectivamente. Dicho análisis permitió la diferenciación de los cuerpos de agua, en lagunas permanentes, semipermanentes y temporarias. De esta manera, las lagunas presentes en todos los periodos (2001, 2009 y 2013) son categorizadas como permanentes, mientras que lagunas presentes en periodos húmedos (2001) y medios como el 2013 son semipermanentes, y finalmente aquellas lagunas solo presentes en periodos húmedos como el año 2001 son individualizadas como temporarias.

En relación a lo descripto, se observa que la variabilidad de las expresiones hidrológicas superficiales está estrechamente vinculada a las geofomas que determinan la interacción de la topografía con los aportes atmosféricos y flujos subterráneos. El sector centro y NO de la provincia de La Pampa, se caracteriza por la ocurrencia de numerosas lagunas en épocas húmedas, en su mayoría de carácter intermitente, dada la reducida cantidad de lagunas permanentes presentes en épocas de sequía.

En este sentido, la Región de los Valles Transversales ubicada en el sector centro y NO de la provincia de La Pampa, se destaca por un relieve contrastante entre ambientes de planicie y de valles, se observa que para los mismos regímenes hídrico y térmico, que constituyen las funciones de entrada y salida del sistema, las manifestaciones hidrológicas son diferentes, hecho que

determina la ocurrencia de lagunas permanentes. Es por ello que el objetivo de este trabajo es evaluar las características que definen la ocurrencia de las lagunas permanentes en diferentes ambientes de la Región Hídrica de los Valles Transversales.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. Objetivo general

Analizar el funcionamiento hidrológico de lagunas permanentes en distintos ambientes de la Región de los Valles Transversales a partir del estudio de la interacción agua superficial-subterránea y desde una perspectiva hidroquímica, isotópica y limnológica, y así proponer un mecanismo hidrológico que describa la permanencia de los cuerpos de agua analizados.

2.1.2. Objetivos específicos

- Caracterización de la interacción agua superficial-subterránea.
- Caracterización hidroquímica de las lagunas y de los flujos intervinientes.
- Caracterización de las lagunas a través de los parámetros limnológicos.
- Definición del carácter de las lagunas.

2.2. HIPÓTESIS

La permanencia de las lagunas está en relación al ambiente que las contiene. Así, las mismas están determinadas por diferentes factores como la topografía y geoformas, régimen pluviométrico, la relación con el agua subterránea, y las características del suelo.

De acuerdo al ambiente de la Región de los Valles Transversales, el modelo conceptual propuesto y a verificar es el siguiente:

a) Áreas de médanos

Como consecuencia de la textura y la porosidad del ambiente medanoso, la infiltración de las precipitaciones se ve favorecida y contribuye en su mayoría a la recarga. En consecuencia, el nivel freático responde a las precipitaciones y genera un flujo de descarga local hacia las lagunas.

b) Áreas terminales de los Valles Transversales

Las lagunas ubicadas en marcadas depresiones topográficas o cubetas de deflación en el extremo distal de los valles y enmarcadas por áreas de planicie estructural, no poseen aportes de flujos subterráneos locales debido a que en general no existen geoformas que faciliten la infiltración. La permanencia de la laguna está dada por el flujo subterráneo de tipo regional que alimenta al cuerpo de agua y que es interceptado por la profunda depresión topográfica. La existencia de aportes superficiales a través de escorrentía encauzada a lo largo del valle es solo eventual en respuesta a intensas precipitaciones locales.

c) Áreas centrales de Valles Transversales

En los sectores medios de los valles transversales, la existencia de un cordón medanoso central determina que además de las lagunas que se forman en su seno y responden a la dinámica descrita en el punto a, existan cuerpos lagunares en el área de descarga del cordón medanoso que se ubican al pie del talud lateral del valle. Esta circunstancia hace que la laguna reciba el aporte de la descarga local que se infiltró en el sector medanoso. La influencia de la escorrentía superficial es menor o inexistente.

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en la Región de los Valles Transversales (RVT). Según el IRHLP (UNLPam, 2015) posee una superficie total de 31.052,7 km² con un desarrollo latitudinal de 240 km y longitudinal de 230 km aproximadamente. Abarca el SE del departamento de Loventué, la mayor parte del departamento Toay y Atreucó, Guatraché; E, centro y N de Utracán, NE de Lihué Calel, y N-NE de Hucal (Figura 3.1).

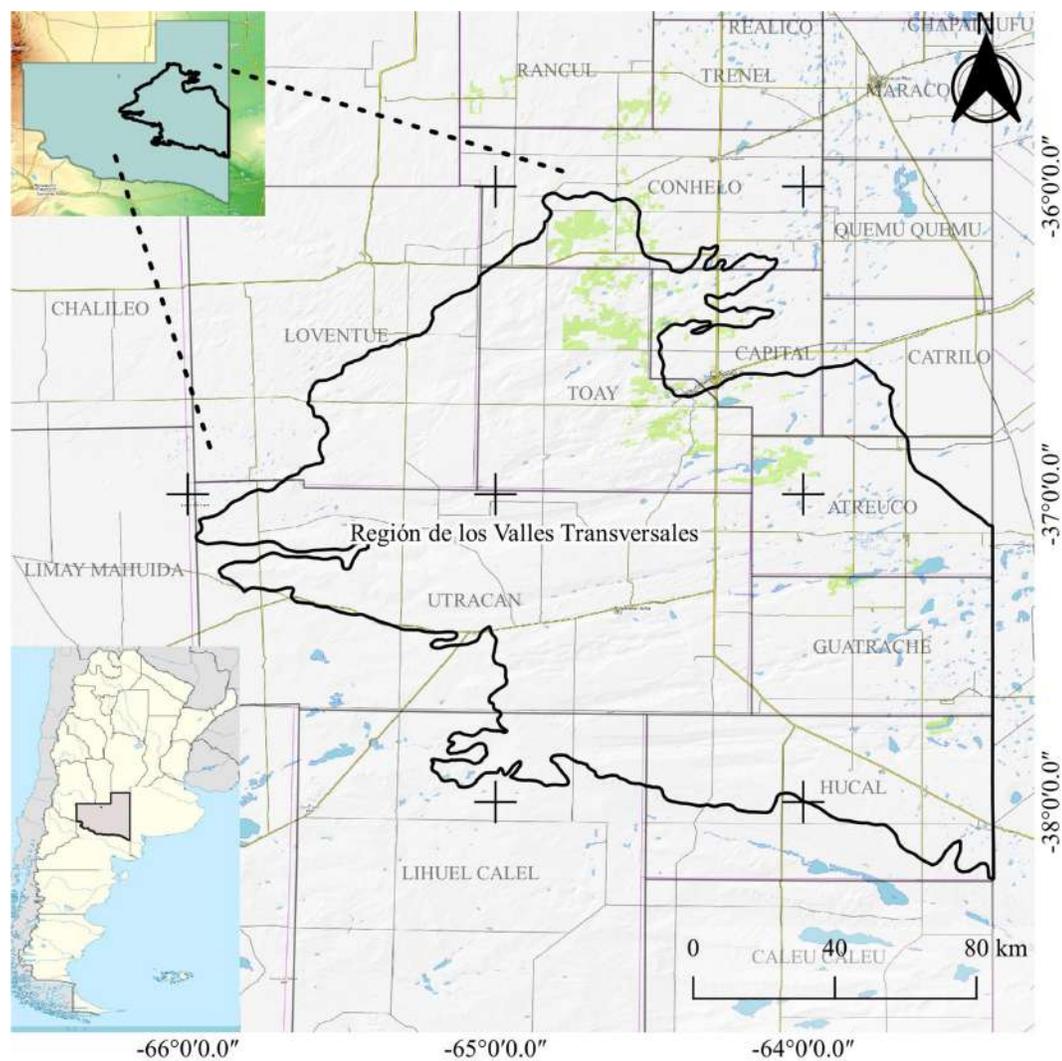


Figura 3.1: Ubicación de la Región de los Valles Transversales (RVT), en La Pampa y en Argentina. Esc. 1:1.500.000.

La RVT muestra una dominancia de lagunas temporarias, sin embargo, es la región hídrica de La Pampa con el mayor número de lagunas de carácter permanente y semipermanente. Las lagunas temporarias individualizadas alcanzaron un total de 1.036 en el año 2001, caracterizado como húmedo, con un número reducido de lagunas temporarias de menor extensión. La ocurrencia

de lagunas permanentes y semipermanentes totaliza 117 y 129 respectivamente. Las lagunas semipermanentes son aquellas identificadas la mayoría de los años, esto es en años húmedos y medios. En relación a la existencia de menor cantidad de lagunas temporarias, no se verificó una variación tan acentuada de la superficie inundada entre períodos húmedos y secos como en otras regiones. La extensión de la superficie inundada varió entre 57.216 y 10.607 ha entre el período húmedo (2001) y el seco (2009) respectivamente.

Existen en la RVT sistemas hídricos de relevancia en general asociados a la ocurrencia de los valles transversales. Entre ellos, las lagunas asociadas al Valle Argentino que, alojadas en el cordón medanoso central o en sus flancos, conforman un importante sistema o conjunto de lagunas más o menos vinculadas. La ocurrencia de las mismas está en relación a la infiltración de las precipitaciones en el cordón medanoso y a la descarga subterránea del mismo. En épocas húmedas dichas lagunas pueden interconectarse generándose escurrimientos entre las mismas. Se destaca también, el sistema hídrico del Valle de Quehué compuesto por un curso o arroyo homónimo con escurrimientos intermitentes asociados a precipitaciones locales e intensas, y que, conectando distintas lagunas o depresiones, culmina en la laguna de Parque Luro recorriendo una extensión de aproximadamente 95 km. El resto de las lagunas se ubican en área de planicie, con una ocurrencia fuertemente vinculada a las precipitaciones, o en el extremo occidental asociadas a extensos campos de médanos (Dornes et al., 2016).

3.1. SUELOS Y GEOMORFOLOGÍA

La región hídrica abarca a las subregiones geomorfológicas de las mesetas y valles, y de colinas y lomas en el sector norte, descriptas en el Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa (IIRNLP, Cano, 1980). En la misma la intensidad de procesos morfogenéticos de acción hídrica concentrada, elaboró un sistema de valles dispuestos en forma de abanico. Posteriormente la acción eólica acumuló en el fondo de éstos importantes volúmenes de arena. En la RVT se identifican principalmente mesetas, valles y cordones medanosos, dispuestos en forma de abanico cuyo ápice se encuentra entre las localidades de Chacharramendi y Valle Daza, la orientación de estos rotan del NE al E. En dichas unidades fisiográficas, se definen sistemas hídricos de diferente expresión, generalmente concentrados en los Valles Transversales (Figura 3.2).

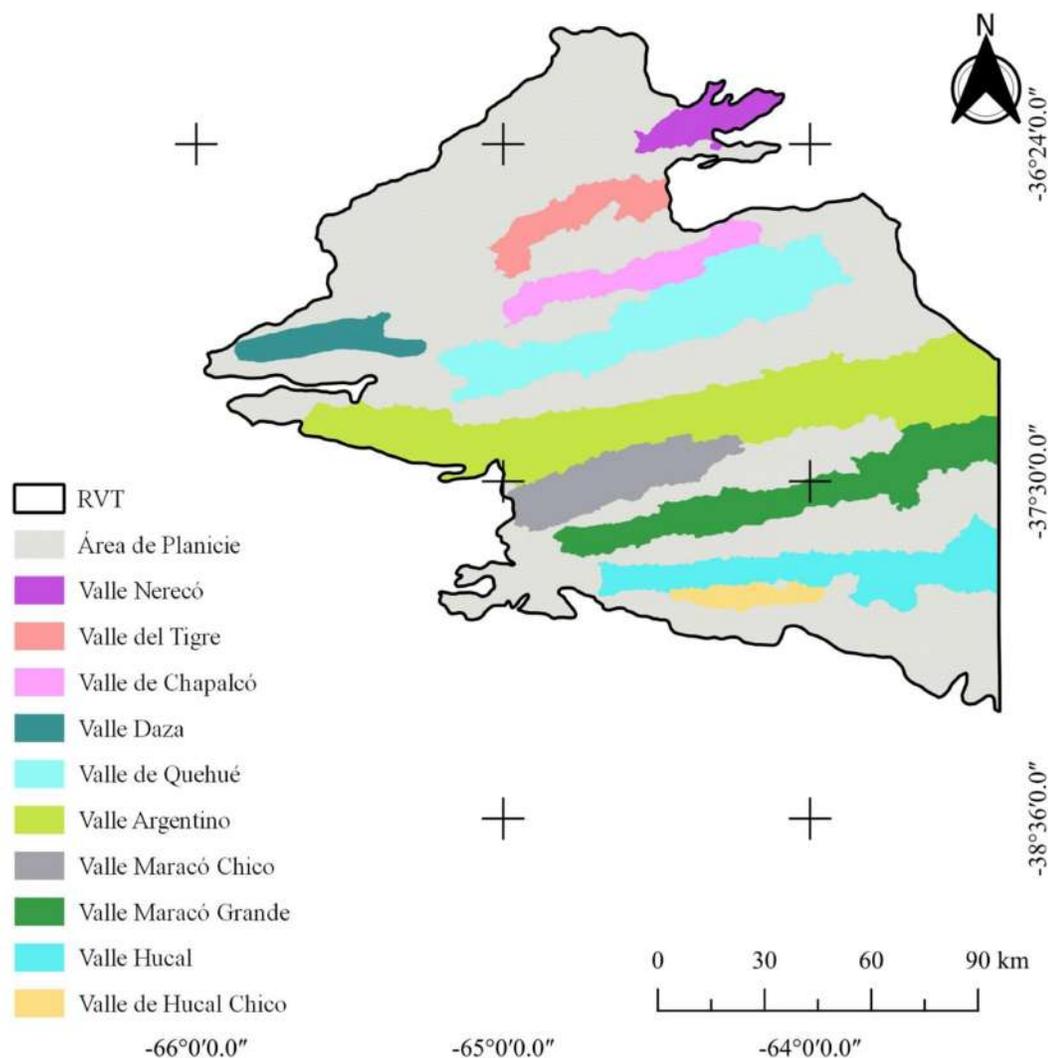


Figura 3.2: Representación de las unidades geomorfológicas que definen los principales Sistemas Hídricos en la RVT. Esc. 1:1.500.000.

Las mesetas están recubiertas por una delgada capa de arena de espesor variable de entre 0,30 a 0,90 m, por debajo existe una potente capa calcárea algo discontinua que recubre a su vez sedimentos de la formación Cerro Azul. Dicha formación está formada por material fino de origen eólico, con paleosuelos intercalados. A partir de la composición mineralógica, en su mayoría fragmentos líticos y vidrio volcánico, los sedimentos provienen principalmente de arcos volcánicos andinos probablemente ubicados en el sur de la provincia de Mendoza. En tanto que la presencia, en menor proporción, de clastos de rocas metamórficas indicarían un aporte local (Lanzillotta, 2017).

Los valles se encuentran recubiertos por capas de arena a veces dispuestas en forma de cordones medanosos. La textura de dichos mantos eólicos es franca gruesa a gruesa, llegando a superar los 15 m de espesor, por ejemplo en el Valle Argentino. En general, no presentan un sistema de drenaje definido, dado que las antiguas vías de escurrimiento, se encuentran actualmente sepultadas por la arena. (Calmels, 1996, Folguera y Zarate, 2011 y 2018). Los sistemas de drenajes

más o menos desarrollados, más allá de las lagunas temporarias intermediano con aporte meteórico y descarga local, lo constituyen el arroyo Quehué en el valle homónimo y de naturaleza intermitente, y el alineamiento de lagunas en los flancos de los Valles Daza y Argentino.

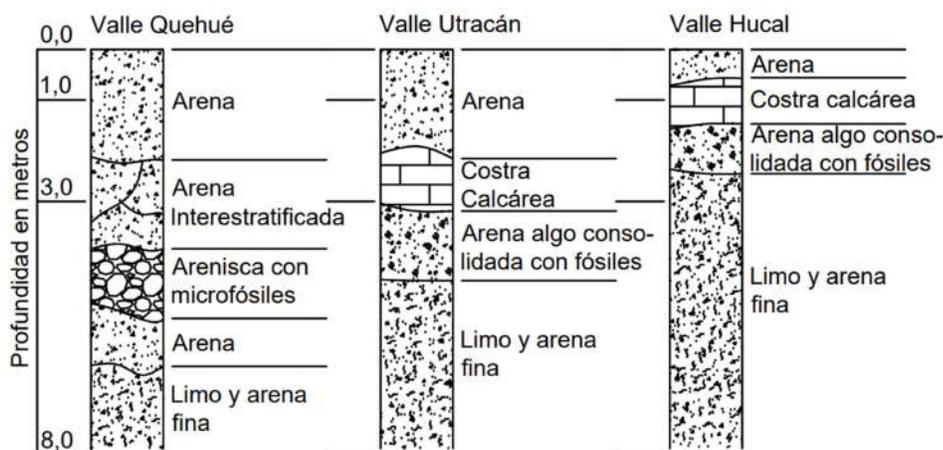


Figura 3.3: Perfiles esquemáticos de distintos valles de la RVT. Modificado Figura N° 22 (IIRNLP, 1980). Escala vertical completada con interpretación representativa de perfiles cercanos en cada zona.

En los Valles Transversales se distinguen tres elementos fisiográficos. Los cordones medianos centrales, que ocupan un porcentaje mayoritario de la superficie están fijados naturalmente por vegetación sammófila y en raras ocasiones es posible distinguir crestas medianas vivas. Siguen sectores llanos laterales, que constituyen los Valles Transversales propiamente dichos y finalmente, dentro de estos últimos entre los cordones medianos y el talud de la meseta, se ubican lagunas en rosario fuertemente salinizadas (Figura 3.4).

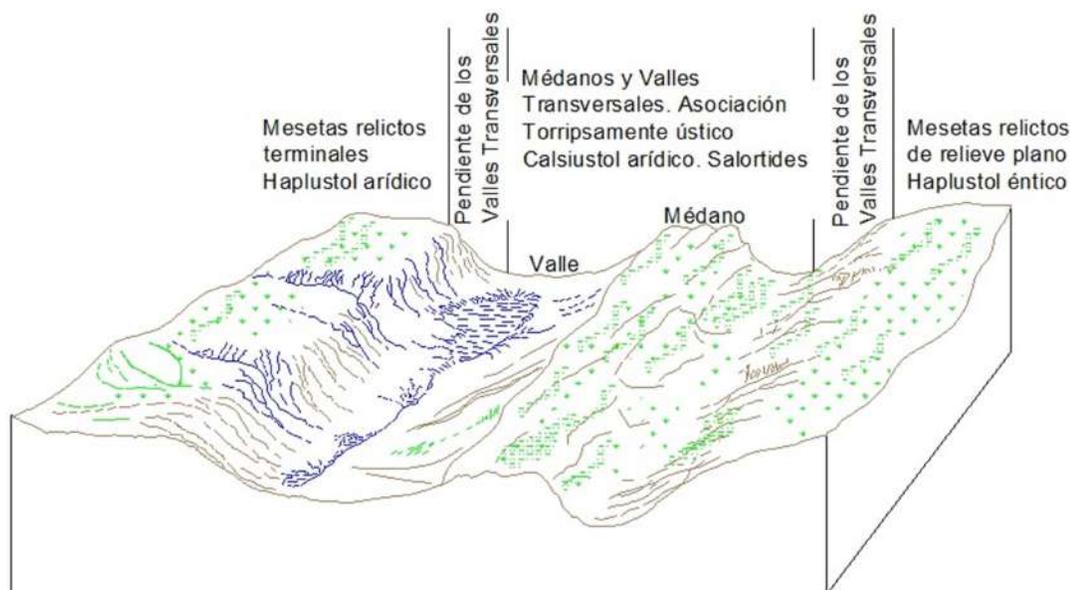


Figura 3.4: Diagrama idealizado del paisaje – suelo en diferentes unidades cartográficas en la subregión de las mesetas y valles para la RVT. Figura N° 203 (IIRNLP, 1980).

En los Valles Transversales se identifican tres tipos de suelos definidos:

- 1) Los cordones medanosos donde hay Torripsamente ústico, familia silícea, térmica. Tiene un simple perfil libre de calcáreo, excesivamente drenado y susceptible a la erosión eólica. La capa de agua se encuentra entre los 2 - 11 m, pero más comúnmente a los 8 m de profundidad.
- 2) Los valles donde hay Calciustoles arídicos, familia arenosa, silícea, térmica. Estos suelos se presentan cuando el valle es amplio, como es el caso del Valle Argentino. Son suelos con buen contenido en materia orgánica dentro de los 0,25 m y aparece a continuación un horizonte con alto contenido en calcáreo secundario en concreciones y en la masa. Tienen permeabilidad excesiva, peligro a la erosión eólica. La capa freática se encuentra entre los 3 - 7 m, siendo lo más frecuente a los 5 m. Se incluyen otros suelos menores, Haplustoles énticos localizados en los planos del valle; Torripsamientos ústicos próximos a las pendientes y Haplustoles arídicos en fase salina cuando se encuentran cercano a las lagunas.
- 3) En las áreas por influencias por lagunas hay, Salortides acuólicos, familia arenosa, silícea, térmica. Tienen la capa de agua alta y muy salada, no aprovechable por las plantas (se considera que hay aridez fisiológica). Otros suelos son Salortides típicos como los anteriores, pero más secos, con la capa de agua por debajo del metro.

En el sector O de la RVT y que es coincidente con el centro de la Provincia se distinguen en las partes altas, planicies. Son suelos como Haplustol éntico, desarrollados sobre las arenas eólicas que tapizan la planicie, y presentan una cierta organización edafogenética, pueden contener material calcáreo a partir de los 0,50 m de profundidad. Tienen baja capacidad de retención de humedad, excesiva permeabilidad y peligro de erosión hídrica y eólica.

En el área de los valles se da una asociación de tres suelos dominantes según la posición que ocupen en el paisaje. En el cordón medanoso se observan suelos con un desarrollo muy incipiente de tipo Torripsament ústico, que tienen un perfil simple C1-C2, libre de calcáreo, excesivamente drenado y susceptible a la erosión eólica. Si el valle es amplio, se pueden dar Calciustoles arídicos, con buen contenido de materia orgánica en los primeros 25 cm y por debajo aparece un horizonte con alto contenido de calcáreo secundario en concreciones y en la masa. Por último, en las zonas influenciadas por las lagunas se reconocen Salortides que pueden ser acuólicos, si tienen una capa de agua muy cercana a la superficie, o típicos si la capa de agua está por debajo del metro (Lanzillotta, 2017).

Se muestra en la Figura 3.5 un perfil estratigráfico de una perforación en la localidad de Chacharramendi que representa el área occidental de la RVT con una cobertura medanosa marcada (ver Figura 3.2).

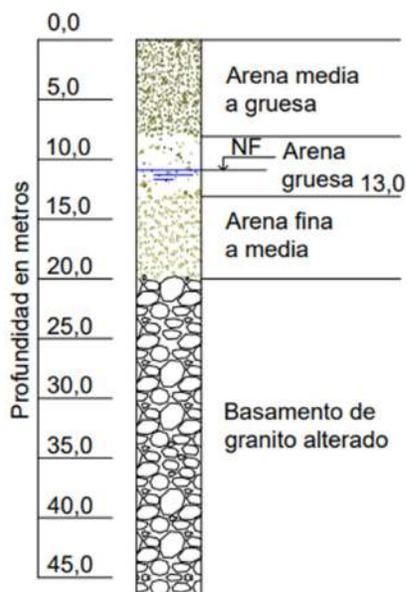


Figura 3.5: Perfil estratigráfico de una perforación en la localidad de Chacharramendi, ubicado en el sector occidental de la RVT y que constituye una planicie medanosa

3.2. CLIMA, PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

La precipitación disminuye del sector NE hacia el SO como lo evidencian las isohietas que atraviesan a la RVT. El 98,6% del área de la RVT se halla comprendida entre las isohietas de 700 mm y de 500 mm (Figura 3.6).

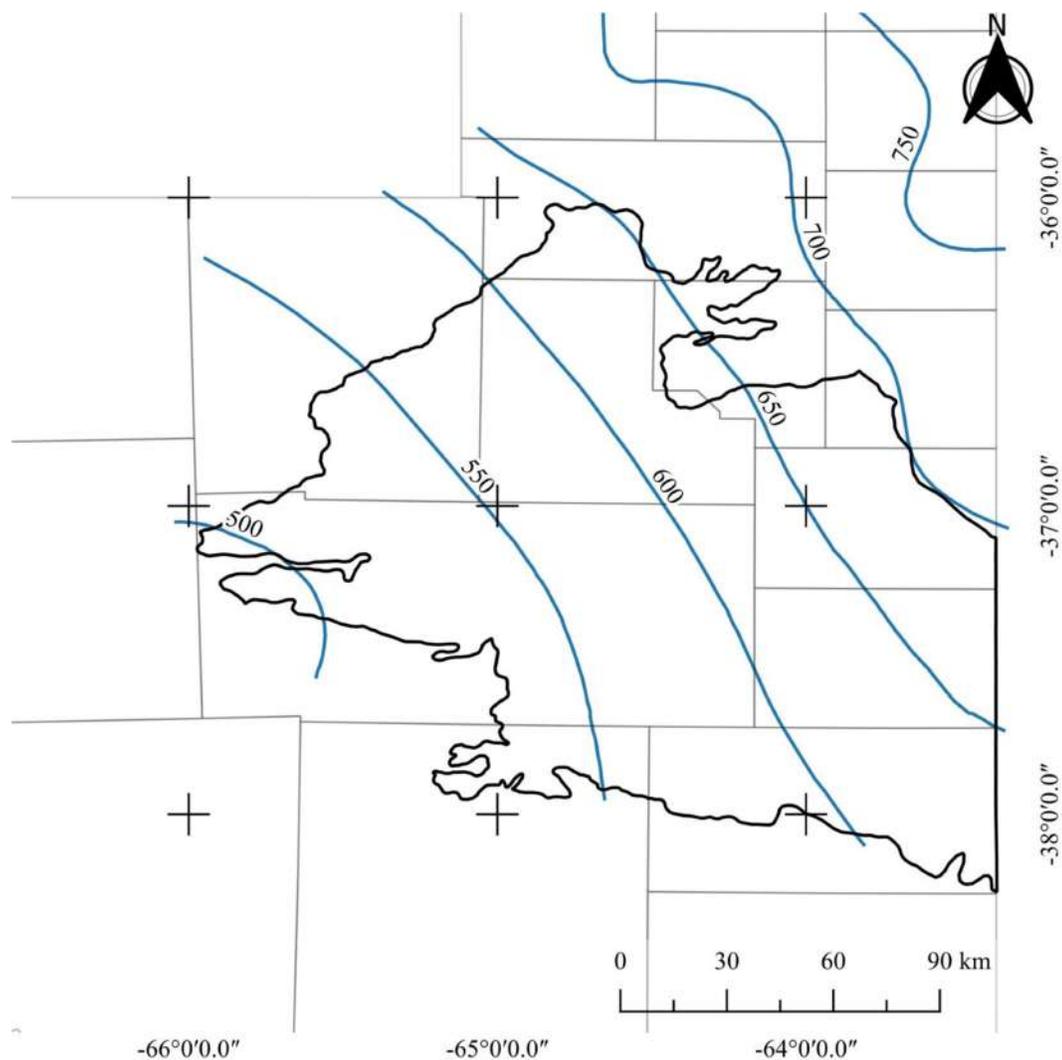


Figura 3.6: Isohietas de precipitaciones media anuales para la RVT. Período 1921 al 2014, excepto Chacharramendi 1962 al 2014. Modificado de Figura I.5.5 del IRHLP (UNLPam, 2015). Esc. 1:1.500.000.

Al tener en cuenta el IIRNLP y solaparlo con la RVT, surge que esta última es atravesada por dos isolíneas de E a O, la de 780 mm y 800 mm, que definen la evapotranspiración potencial (ETP). A la vez, la región en estudio se encuentra comprendida dentro de la evapotranspiración real (ETR) que oscila de los 400 mm a los 700 mm medios anuales de una serie que va desde 1941 al 1960 para diferentes localidades de La Pampa (Figura 3.7).

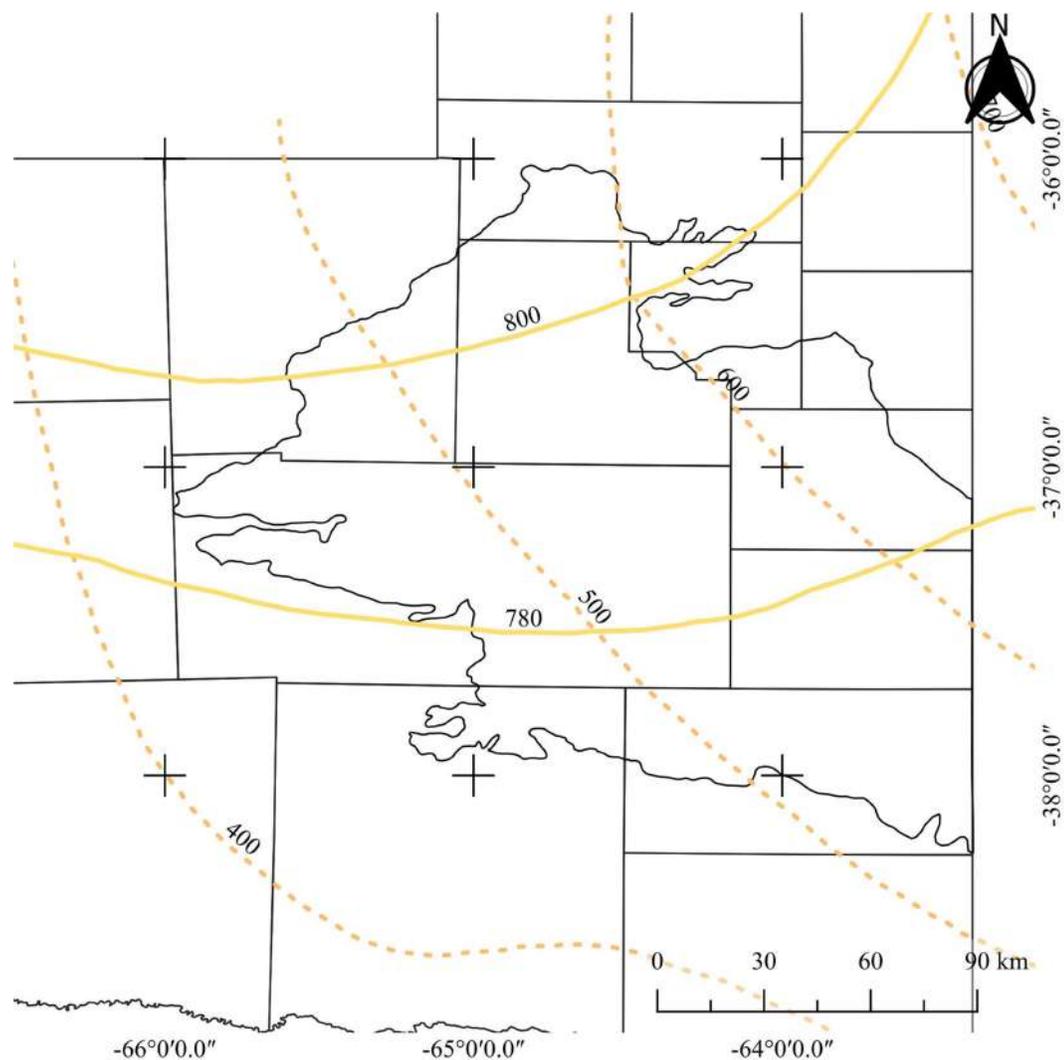


Figura 3.7: Promedio anuales de la evapotranspiración potencial (línea continua amarilla, ETP) y real (línea en trazos amarilla, ETR) calculado por el método de Thornthwaite para la RVT, de las series de 1941 al 1960. Modificado de Figura N° 8 (IIRNLP, 1980). Esc. 1:1.500.000.

Finalmente del IIRNLP, se obtuvo el índice hídrico (IH) de Thornthwaite que define tres regiones con grandes contrastes entre ellas: a) subhúmeda-seca con una deficiencia IH de -20 mm anuales ubicada al NE, b) semiárida que se encuentra con IH entre los -20 mm y -40 mm de deficiencia anual en el centro de la Provincia y c) seca por encima de los -40 mm de IH (Figura 3.8).

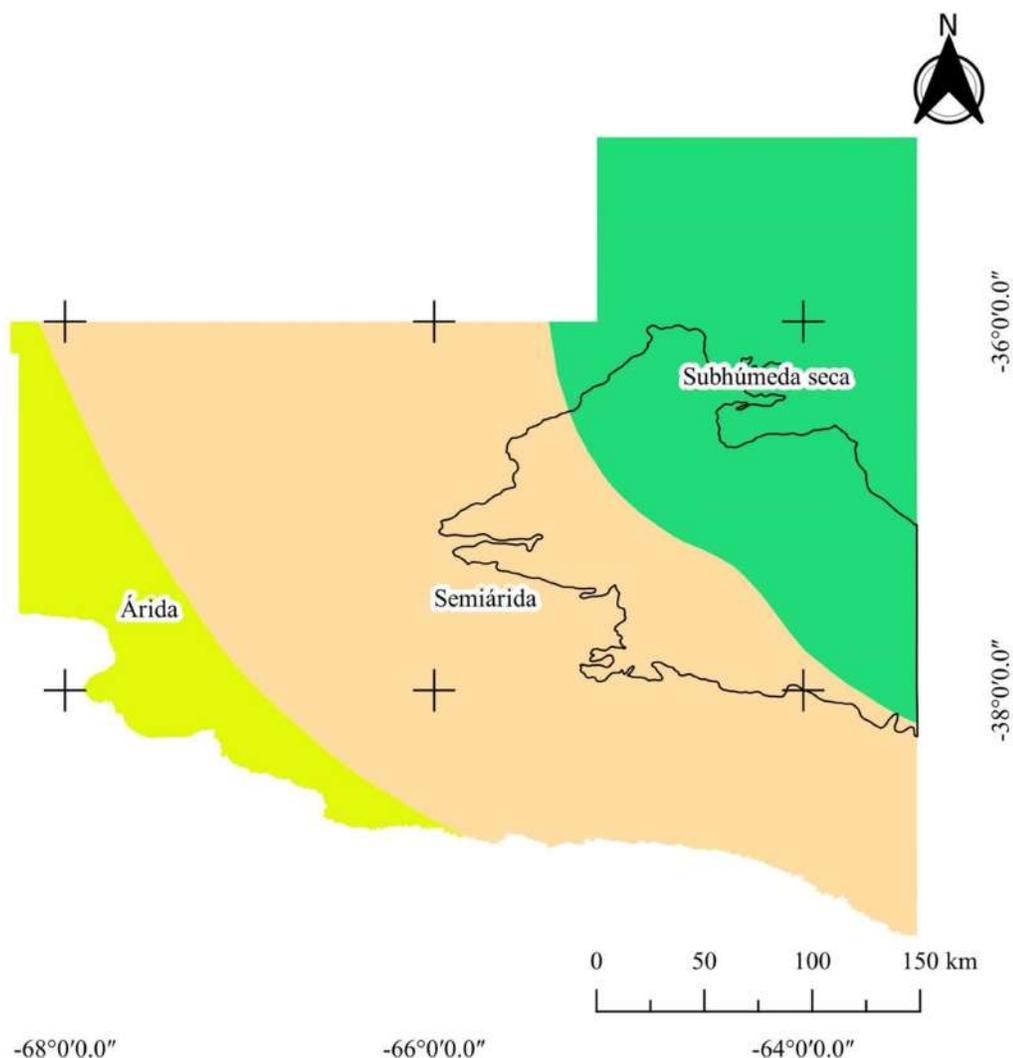


Figura 3.8: Regiones Hídricas obtenidas del índice hídrico (IH) de Thornthwaite. Modificado del IIRNLP, Figura N° 8 (Cano, 1980). Esc. 1:2.500.000.

3.3. LAGUNAS

La ocurrencia de lagunas posee una amplia distribución espacial. La RVT abarca el mayor número de lagunas de carácter permanente y semipermanentes en la provincia de La Pampa. La Figura 3.9 detalla las lagunas identificadas en la RVT en el IRHLP (UNLPam, 2015). Se observa, que las lagunas permanentes se ubican mayormente en el área de Valles Transversales y más precisamente en el sector terminal de los mismos alojadas en marcadas depresiones topográficas. Esta configuración determina que sean lagunas que actúan como nivel de base de sistemas hídricos alimentadas por flujos subterráneos de carácter regional.

Otro grupo de lagunas que en general son de carácter semipermanente, lo constituyen las lagunas localizadas en depresiones intermedanas, cuya ocurrencia es en respuesta a la descarga local de niveles freáticos someros de las áreas medanosas. En la RVT se localizan al O en la zona del Meaucó y en los cordones medanosos ubicados a lo largo de los Valles Transversales,

particularmente en el Valle Argentino. También, asociadas a estos cordones se alinean en la zona de descarga de dichos cordones contra el talud de valle diferentes lagunas de carácter permanente o semipermanente, como es el caso de la zona de Utracán.

Finalmente, entre los valles en el ambiente de meseta o planicie, se observa la ocurrencia de lagunas temporarias o semipermanentes dependiendo del aporte meteórico, alojadas en cubetas de deflación aisladas en la planicie estructural (Dornes et al., 2016).

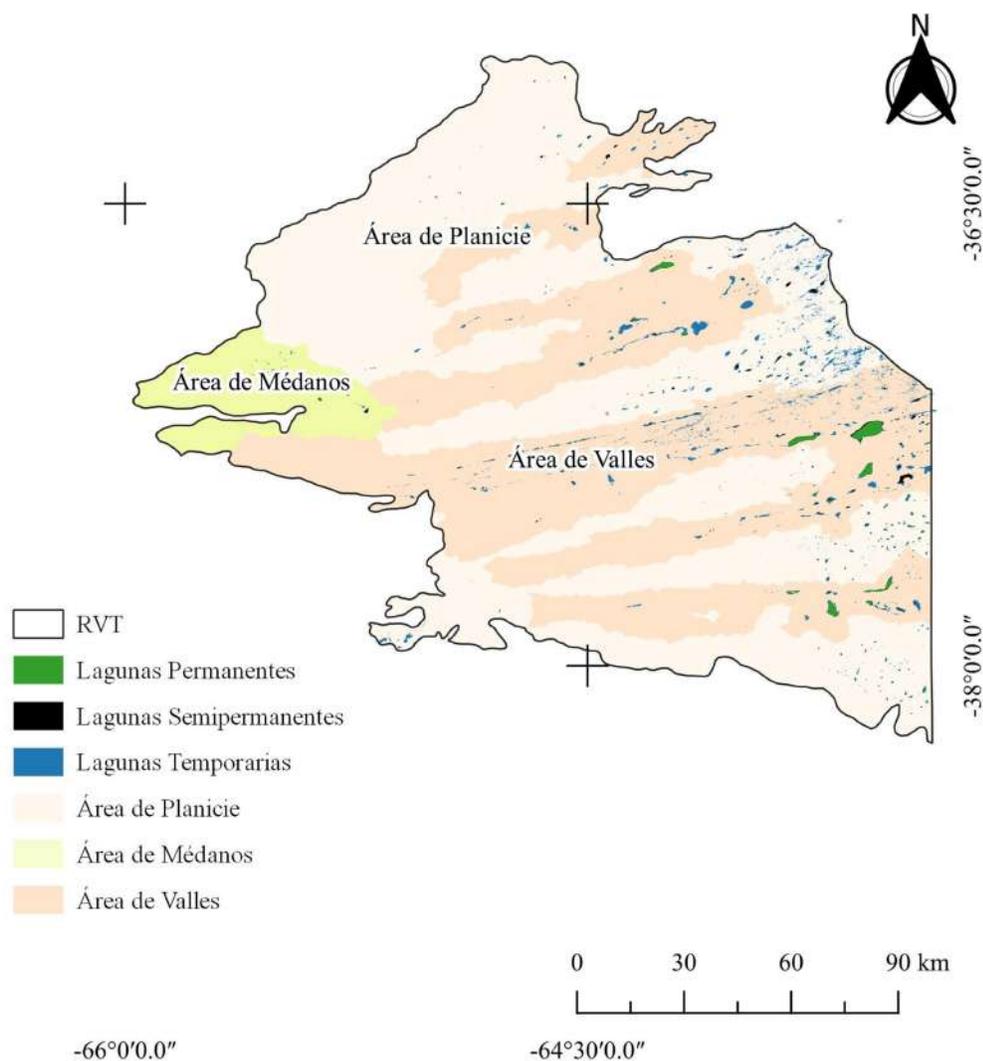


Figura 3.9: Lagunas Permanentes, Semipermanentes y Temporarias en la Región de los Valles Transversales (RVT). Adaptado de Figuras V.2.2, V.2.3 y V.2.4 del IRHLP (UNLPam, 2015). Esc. 1:1.500.000.

3.4. QUÍMICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

El IRHLP (UNLPam, 2015) exploró los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la región a partir del análisis de información histórica y de muestreos. En particular, se muestrearon lagunas y perforaciones de agua subterránea con el objetivo de su caracterización química.

Se seleccionaron 45 sitios para la toma de muestras de agua superficial y sedimentos de fondo cuya distribución espacial se observa en la Figura 3.10, con una mayor concentración de datos al E y una menor densidad al O en coincidencia con el centro de la Provincia.

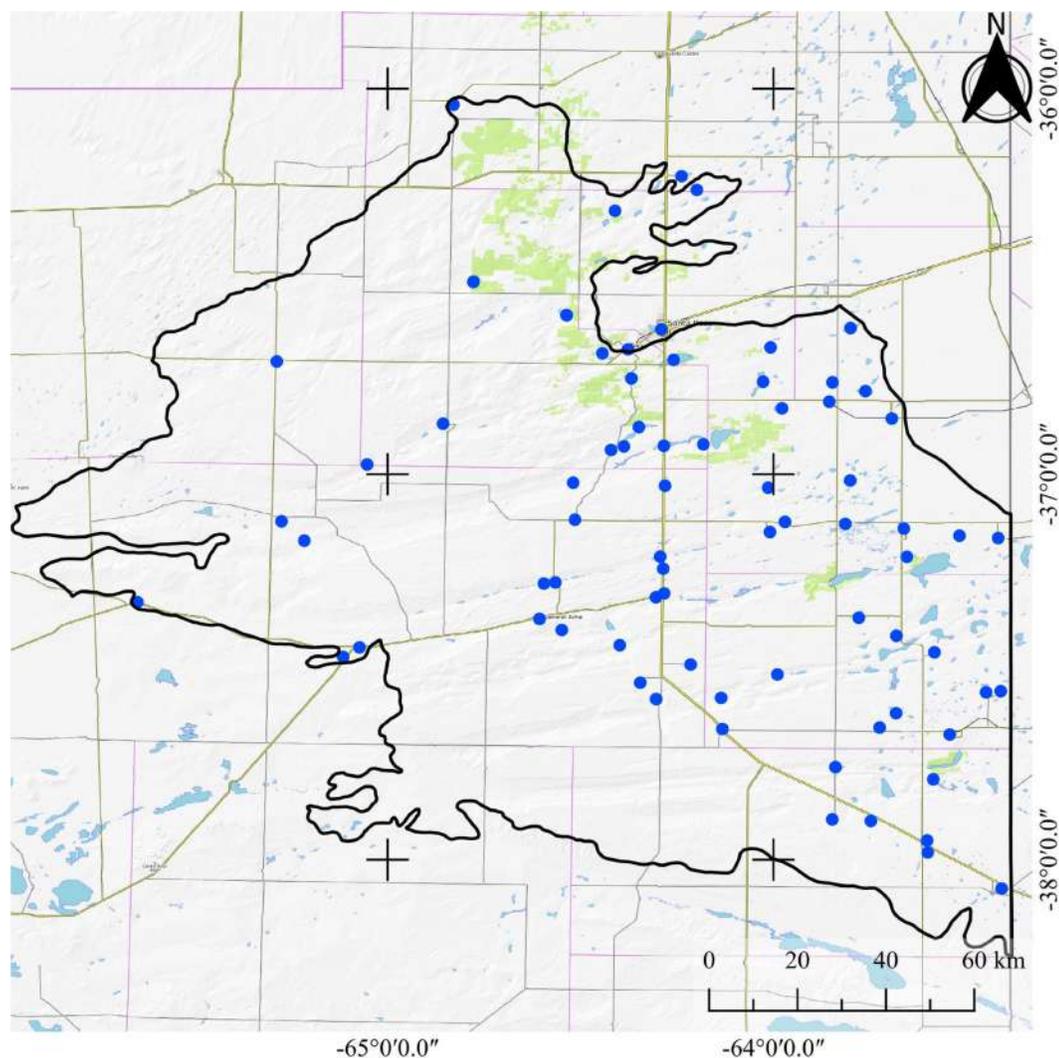


Figura 3.10: Lagunas muestreadas en el IRHLP para la RVT, indicadas con puntos azules. Modificado de Figura V.2.5 (UNLPam, 2015). Esc. 1:1.200.000.

El valor promedio y rango de valores obtenidos para las principales variables físico-químicas y químicas se resumen en la Tabla 3.1 extraída del inventario. Se refleja una amplia gama de valores como en los sólidos totales disueltos de laboratorio con 227 mg/L hasta 333.766 mg/L que denota la posibilidad de tan amplia variación y gama de posibles lagunas en la RVT.

Tabla 3.1: Promedio y rango de concentración de las variables de mayor interés, en muestras de agua superficial. Valores en mg/L, excepto en los casos especificados (*parámetros medidos en campo). Modificado de la Tabla V.2.2 del IRHLP (UNLPam, 2015).

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
pH *	9,1	7,5	10,6
Oxígeno disuelto *	5,4	0,4	18,2
Sólidos totales disueltos	35.360,3	227,0	333.766,0
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) *	71.627,5	183,0	239.000,0
Transparencia (cm) *	18,6	<1,0	80,0
Sólidos sedimentables (m/L)	1,4	0,1	28,0
Demanda bioquímica de oxígeno	91,5	0,0	1.020,0
Demanda química de oxígeno	440,6	2,0	1.462,0
Dureza total	4.566,8	12,0	29.625,0
Alcalinidad total	1.796,7	75,0	22.500,0
Cloruro	19.004,0	10,0	208.765,0
Sulfato	6.623,1	5,2	72.200,0
Sodio	14.492,0	1,6	119.000,0
Nitrato	43,2	4,0	154,0
Nitrógeno total	13,0	0,0	88,3
Fósforo total	1,1	0,0	7,7
Clorofila ($\mu\text{g}/\text{L}$)	10,7	0,1	38,0
Fluoruro	6,1	0,4	37,0
Arsénico	1,0	<0,03	10,4
Silicio	15,2	1,0	71,7
Hierro	1,8	0,1	11,3
Molibdeno ($\mu\text{g}/\text{L}$)	237,0	5,0	718,0
Estroncio ($\mu\text{g}/\text{L}$)	8.582,7	120,0	42.200,0
Vanadio ($\mu\text{g}/\text{L}$)	605,6	20,0	2.610,0
Cinc ($\mu\text{g}/\text{L}$)	159,3	20,0	1.150,0

La Tabla 3.2 se extrae de la Tabla 3.1, y muestra las variables consideradas para el conjunto de lagunas analizadas en el inventario para la RVT, el promedio del total de las lagunas evaluadas se acerca al valor mínimo medido correspondientes para las mismas. Habiendo casos extremos como la DQO con dos órdenes de magnitud inferior en la diferencia del promedio de valores totales respecto al máximo en consideración con el mínimo. En elementos como el cloruro, sulfato, sodio y nitrato con una diferencia de un orden de magnitud. Cabe aclarar que las lagunas consideradas en el inventario son una muestra (45 lagunas) de la población de lagunas existentes en la RVT (2001, periodo húmedo 57.216 lagunas y 2009, periodo seco 10.607 lagunas).

Tabla 3.2: Diferencia de los valores máximos y mínimos respecto al promedio de las variables consideradas en el IRHLP para la RVT. Datos de Tabla 3.1, para agua superficial. Valores en mg/L, excepto en los casos especificados (*parámetros medidos en campo).

Variable	Δ mínimo	Predominancia	Δ máximo
	Promedio - Mínimo		Máximo - Promedio
pH *	1,6	<	3,1
Oxígeno disuelto *	5,0	<<	17,8
Sólidos disueltos totales	35.133,3	<<	333.539,0
Conductividad eléctrica (μ S/cm) *	71.444,5	<<	238.817,0
Transparencia (cm) *	17,6	<	79,0
Sólidos sedimentables (m/l)	1,3	<<	27,9
Demanda bioquímica de oxígeno	91,5	<<<	1.020,0
Demanda química de oxígeno	438,6	<<	1.460,0
Dureza total	4.554,8	<<	29.613,0
Alcalinidad total	1.721,7	<<	22.425,0
Cloruro	18.994,0	<<	208.755,0
Sulfato	6.617,9	<<	72.194,8
Sodio	14.490,4	<<	118.998,4
Nitrato	39,2	<<	150,0
Nitrógeno total	12,9	<	88,3
Fósforo total	1,1	<	7,7
Clorofila (μ g/l)	10,6	<	37,9
Fluoruro	5,7	<	36,6
Arsénico	1,0	<	10,4
Silicio	14,2	<	70,7
Hierro	1,7	<	11,2
Molibdeno (μ g/l)	232,0	<	713,0
Estroncio (μ g/l)	8.462,7	<<	42.080,0
Vanadio (μ g/l)	585,6	<<	2.590,0
Cinc (μ g/l)	139,3	<<	1.130,0

El tipo de agua superficial predominante en la RVT es clorurada y/o sulfatada sódica, como se observa en la Figura 3.11. Aunque también se puede observar algún punto del tipo bicarbonatadas sódicas.

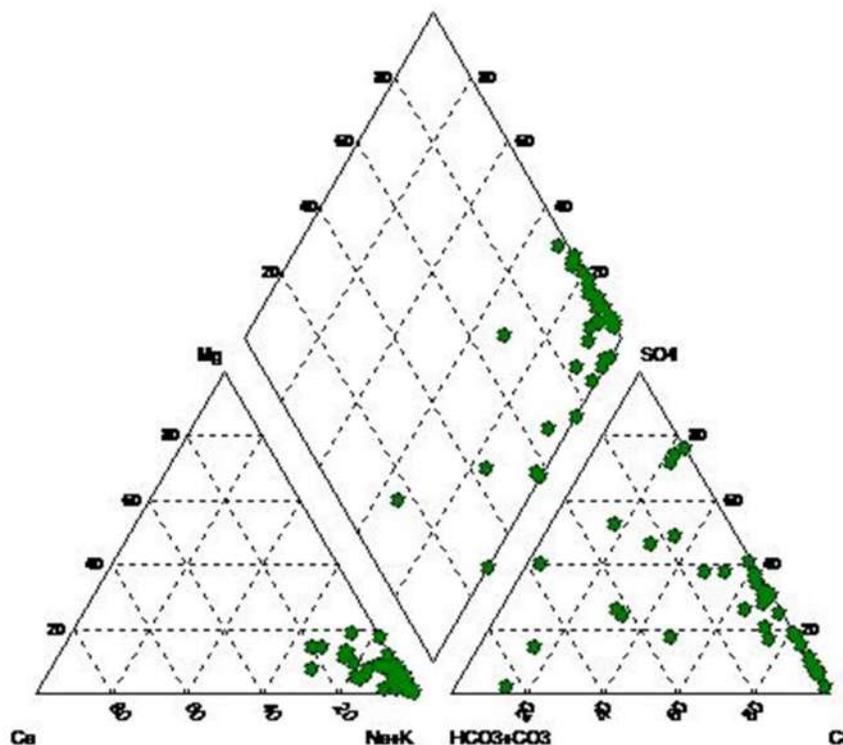


Figura 3.11: Diagrama de Piper, de las aguas superficiales de la RVT, del IRHLP. Figura V.2.6. (UNLPam, 2015).

En el mismo inventario se seleccionaron 33 perforaciones para la toma de muestras de agua subterránea cuya distribución espacial se observa en la Figura 3.12. Las muestras se encuentran concentradas en el sector E de la RVT y en general están asociadas al abastecimiento de agua a las distintas localidades.

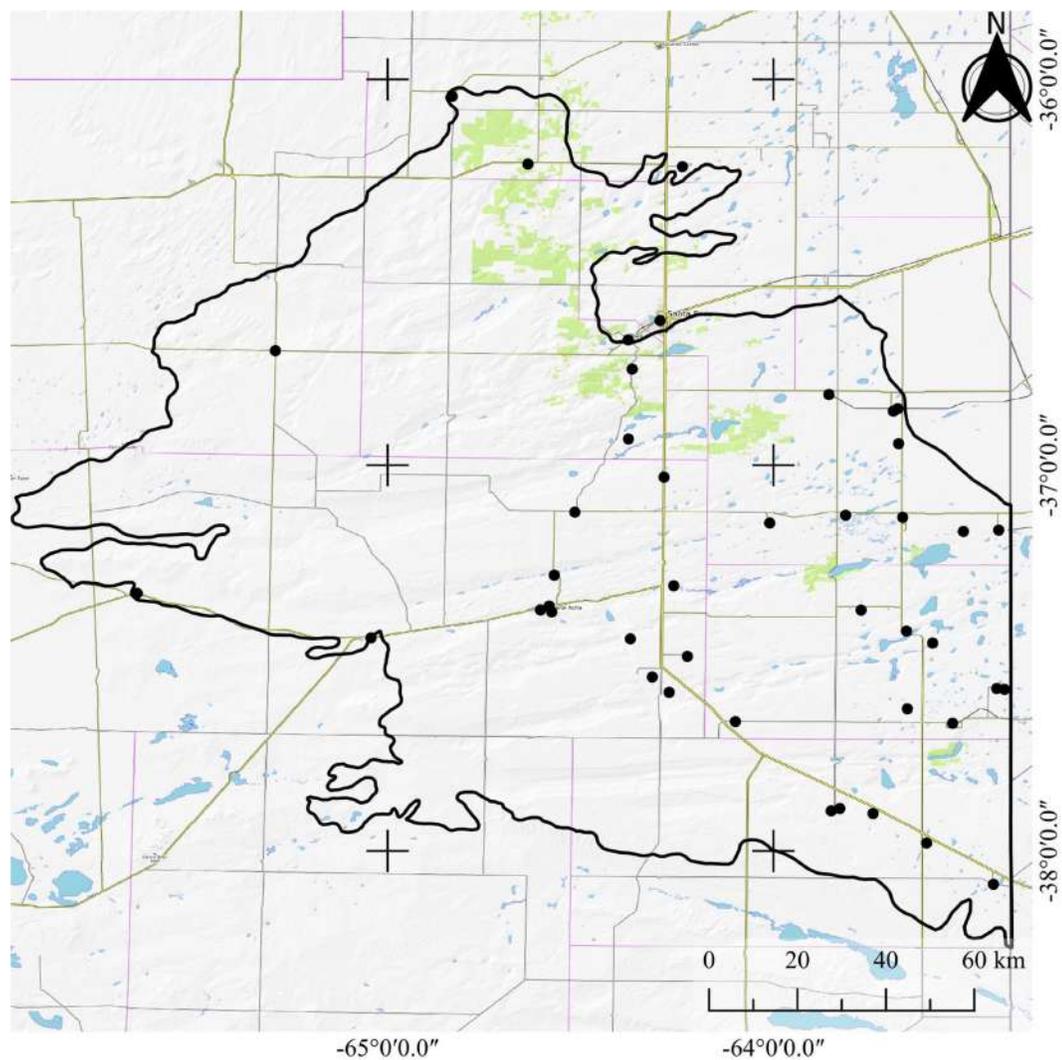


Figura 3.12: Pozos muestreadas en el IRHLP para la RVT, indicados con puntos negros. Modificado de Figura V.3.1 (UNLPam, 2015). Esc. 1:1.200.000.

El valor promedio y rango de valores obtenidos para las principales variables físico-químicas y químicas se resumen en la Tabla 3.3 extraída del inventario.

Tabla 3.3: Promedio y rango de concentración de las variables de mayor interés, en muestras de agua subterránea. Valores en mg/L, excepto en los casos especificados (*parámetros medidos en campo). Modificado de la Tabla V.3.1 del IRHLP (UNLPam, 2015).

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo
pH (-) *	8,3	7,8	9,6
Temperatura (°C) *	20,2	18,3	25,0
Oxígeno disuelto *	6,3	0,8	9,3
Residuo seco	875,7	57,0	1.640,0
Conductividad eléctrica (µS/cm) *	1.383,3	266,0	2.772,0
Dureza total	140,0	37,0	317,0
Alcalinidad total	348,5	150,0	550,0
Cloruro	118,9	7,0	327,0
Sulfato	220,9	3,0	542,5
Sodio	229,4	14,4	546,0
Nitrato	16,4	1,0	56,0
Fluoruro	2,8	0,6	11,1
Arsénico total	0,1	<0,03	0,1
Silicio	31,4	23,8	39,5
Hierro	0,3	<0,01	3,3
Cobre (µg/L)	3,3	<2,0	6,0
Estroncio (µg/L)	386,9	110,0	940,0
Vanadio (µg/L)	277,9	30,0	840,0
Cinc (µg/L)	31,4	17,0	81,0
Bario (µg/L)	49,3	<20,0	140,0
Molibdeno (µg/L)	40,0	<5,0	249,0

Como se observa en Tabla 3.4, la amplitud de valores entre el rango mínimo y máximo medido de las muestras de agua subterránea, es notablemente inferior al de agua superficial, a excepción del molibdeno que posee un orden de magnitud en la diferencia, el resto de las variables consideradas están dentro del mismo orden, con algún caso como el oxígeno disuelto (OD) o el residuo seco (RS) en que el promedio de las muestras consideradas se acerca más al máximo de los valores obtenidos para las variables analizadas.

Tabla 3.4: Diferencia de los valores máximos y mínimos respecto al promedio de las variables consideradas en el IRHLP para la RVT. Datos de Tabla 3.3, para agua subterránea. Valores en mg/L, excepto en los casos especificados (*parámetros medidos en campo).

Variable	Δ mínimo	Predominancia	Δ máximo
	Promedio - Mínimo		Máximo - Promedio
pH (-) *	0,5	<	1,3
Temperatura (°C) *	1,9	<	4,8
Oxígeno disuelto *	5,5	>	3,0
Residuo seco	818,7	>	764,3
Conductividad eléctrica (μ S/cm) *	1.382,3	<	1.388,7
Dureza total	103,0	<	177,0
Alcalinidad total	198,5	<	201,5
Cloruro	111,9	<	208,1
Sulfato	217,9	<	321,6
Sodio	215,0	<	316,6
Nitrato	15,4	<	39,6
Fluoruro	2,2	<	8,3
Arsénico total	0,0	<	0,1
Silicio	7,6	<	8,1
Hierro	0,3	<	3,0
Cobre (μ g/l)	1,3	<	2,7
Estroncio (μ g/l)	276,9	<	553,1
Vanadio (μ g/l)	247,9	<	562,1
Cinc (μ g/l)	31,4	<	49,6
Bario (μ g/l)	29,3	<	90,7
Molibdeno (μ g/l)	35,0	<<	209,0

En la Figura 3.13, y a diferencia del agua superficial, los tipos de agua subterránea predominantes en la región son bicarbonatada sódica y sulfatada y/o clorurada sódica.

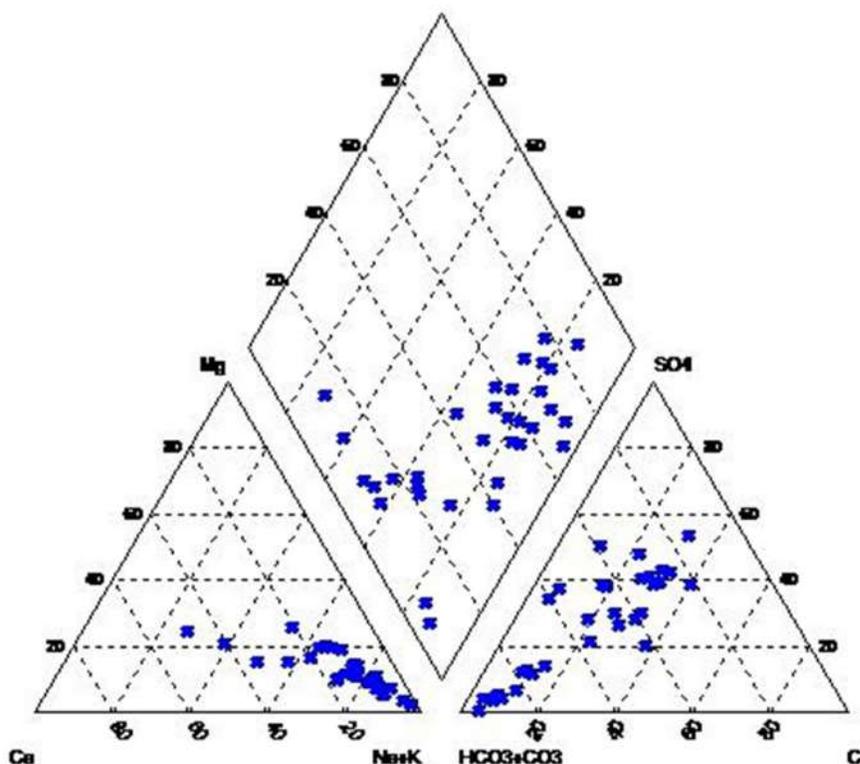


Figura 3.13: Diagrama de Piper, de las aguas subterráneas de la RVT, del IRHLP. Figura V.3.2 (UNLPam, 2015).

3.5. SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA Y LÍNEAS DE FLUJO

Existen trabajos antecedentes que describen la superficie piezométrica y líneas de flujo subterráneo en el área de estudio. En este sentido, en el IRHLP (UNLPam, 2015) se describen las equipotenciales y líneas de flujo a una escala regional de la RVT (Figura 3.14). Se puede ver en general un flujo regional de O a E, con algún sector en el centro de la RVT, donde por ejemplo la línea equipotencial de 210 m s.n.m. presenta una anomalía local, debido al contraste entre sector de planicie y el Valle Argentino, como en el caso del N de Utracán. Otro característica a resaltar, es la concentración de flujos que se produce al E de la RVT, en el sector topográficamente deprimido que contiene las lagunas asociadas a Salinas Grandes.

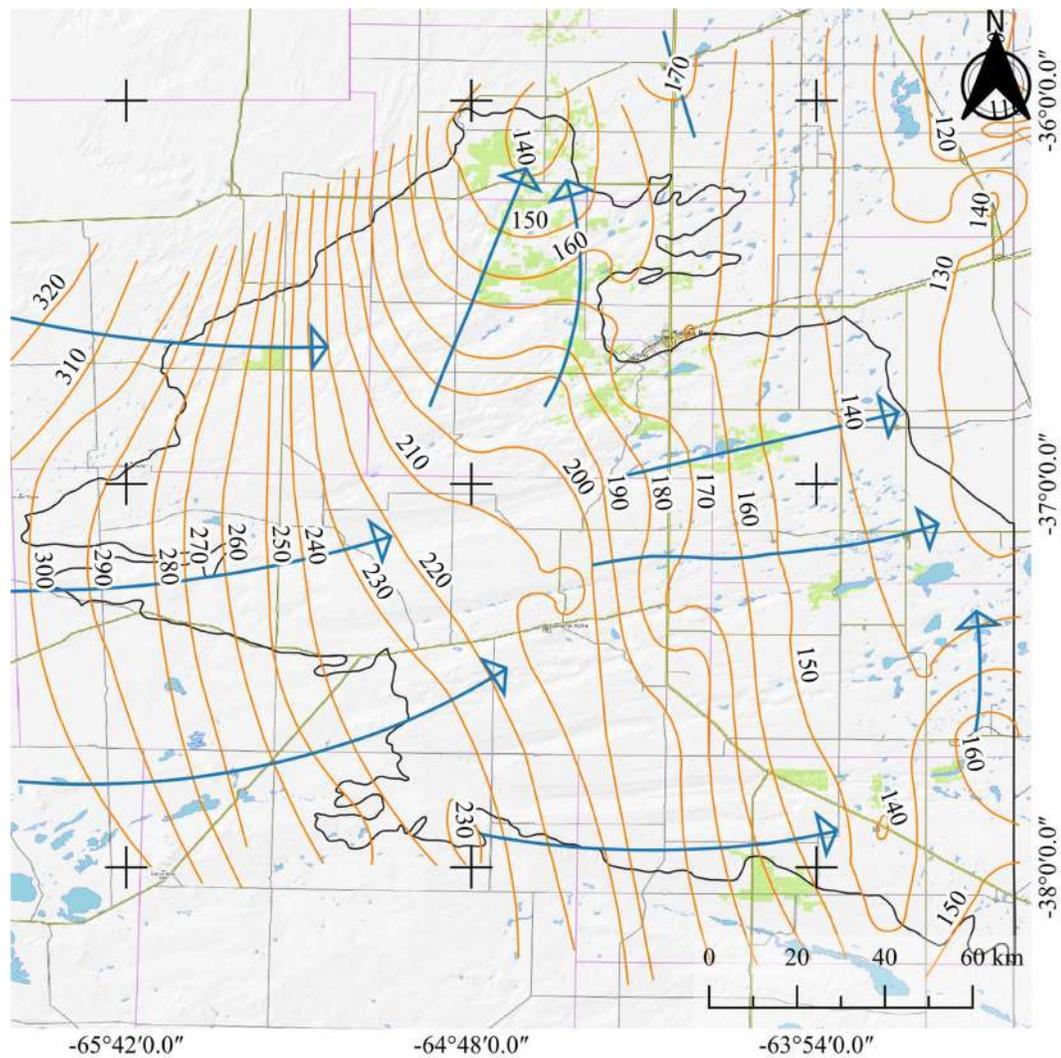


Figura 3.14: Curvas equipotenciales en m s.n.m. (marrón) y líneas de flujo (azul) para la RVT (negro). Modificado de UNLPam (2015). Esc. 1:1.200.000.

En Giai y Tullio (1998) se indican las superficies freáticas de los principales acuíferos de La Pampa. Particularmente, se muestra para el acuífero en zona Meaucó un flujo que en términos locales es de características distributivas, indicando que el mayor potencial hidráulico ocurre en el sector medanoso en respuesta a la recarga de origen meteorológico (Figura 3.15).

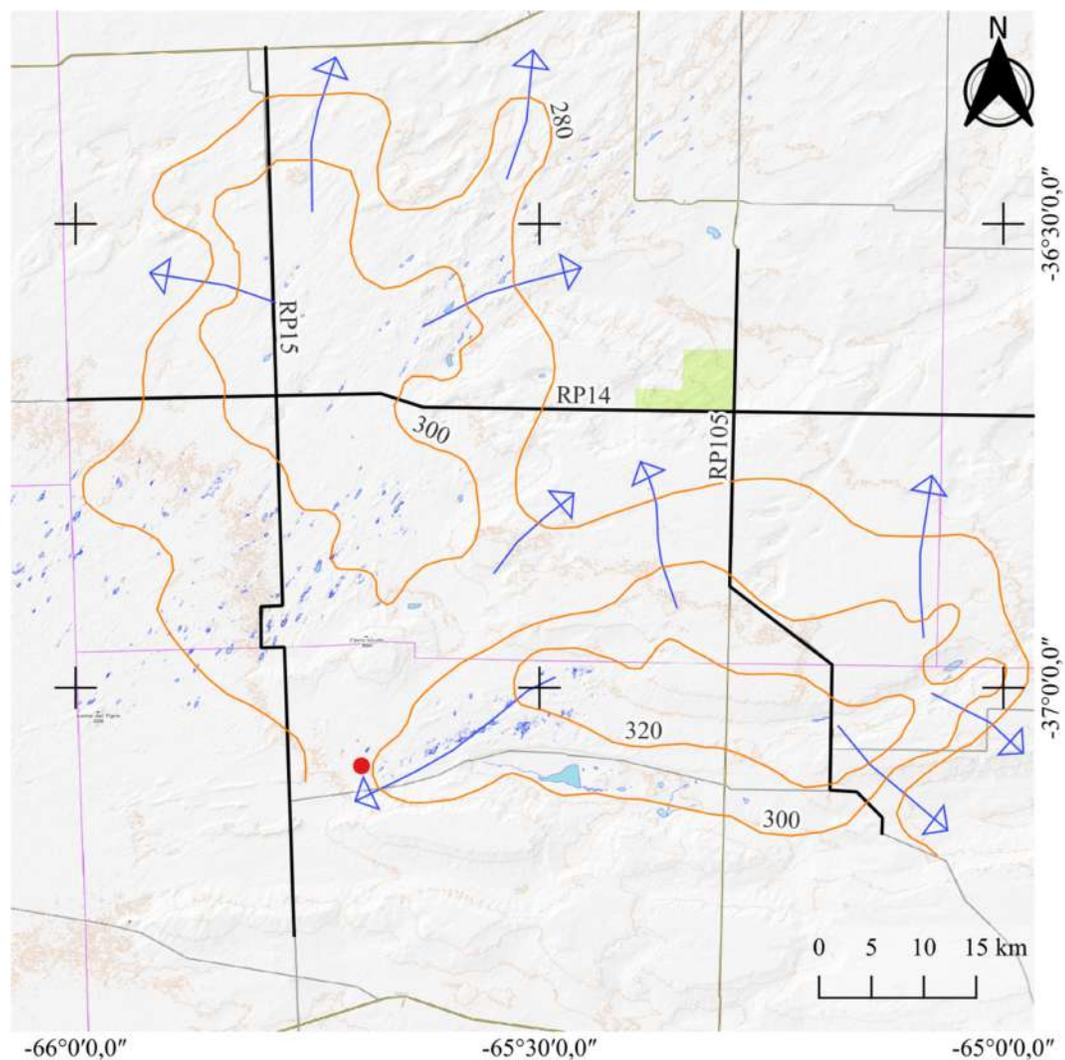


Figura 3.15: Curvas equipotenciales en m s.n.m. (marrón) y líneas de flujo (azul) para zona Meaucó. Rutas Provinciales (negro). Punto rojo: Laguna en zona Meaucó. Modificado de Giai y Tullio (1998). Esc. 1:500.000.

Para el Valle Argentino se resalta el rol del cordón medanoso central como ámbito de recarga meteórica y la descarga hacia el flanco N (Utracán) y S (Figura 3.16).

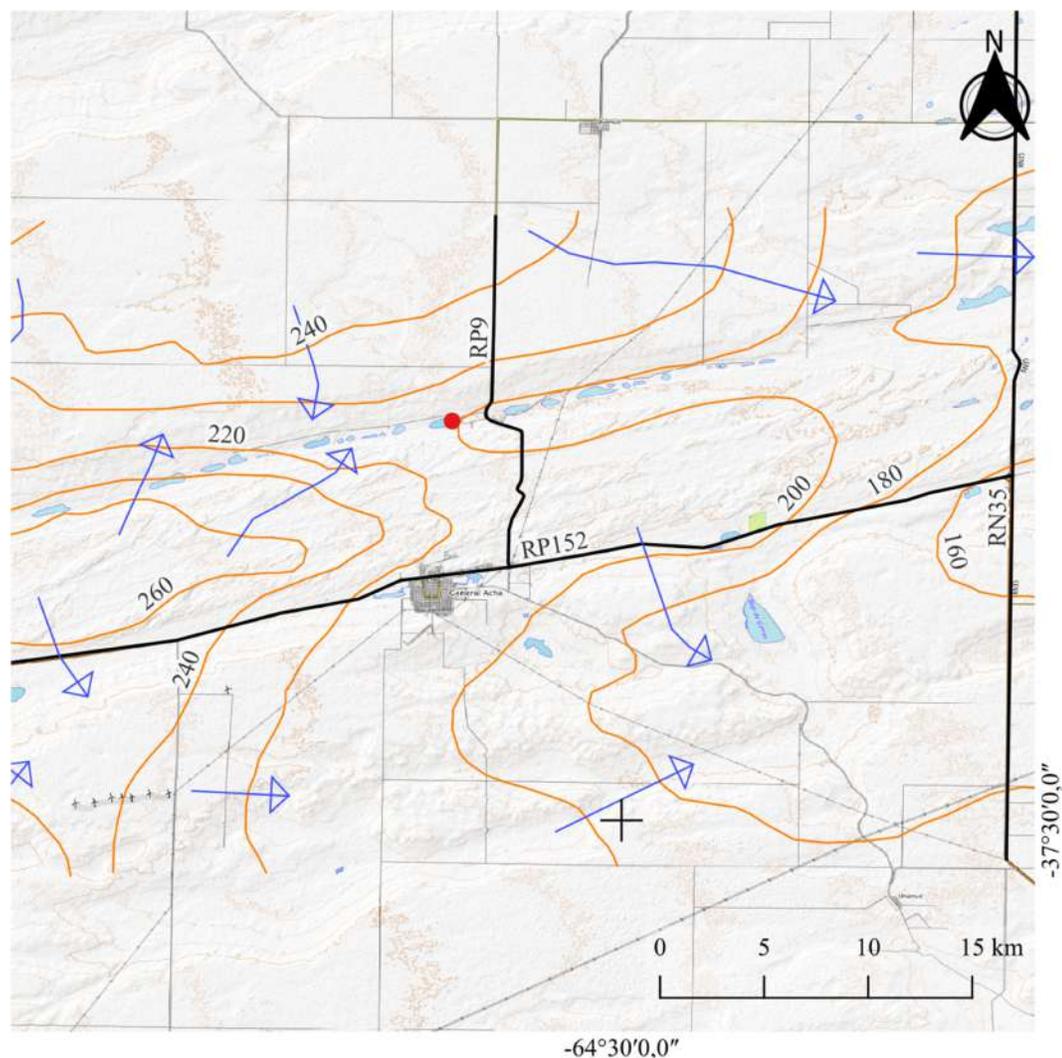


Figura 3.16: Curvas equipotenciales en m s.n.m. (marrón) y líneas de flujo (azul) para zona Utracán, sector central del acuífero Valle Argentino. Rutas Provinciales (negro). Punto rojo: Laguna Utracán. Modificado de Giai y Tullio (1998). Esc. 1:250.000.

En Schulz (2004) y UNLPam (2017) se detallan el sentido de flujo y los gradientes hidráulicos para la zona de Utracán en el Valle Argentino y la zona de la planicie estructural adyacente (Figura 3.17). Se observa que existe un patrón diferente entre los ambientes de meseta estructural y las depresiones de los Valles Transversales. Las isopiezas muestran un amesetamiento entre los valles, con una tenue delimitación de la divisoria de agua entre los mismos. En proximidades de los valles existe un marcado cambio en el gradiente hidráulico que determina la presencia de un flujo subterráneo hacia los mismos. Dentro de los valles, los gradientes también son importantes aunque cambiantes, por tratarse de un sector medanoso que actúa como área de recarga. Se visualiza que el área de aporte a la laguna de Utracán desde la meseta estructural se extiende aproximadamente 13 km, dado que hacia el N el flujo se dirige hacia el Valle de Quehué. Mientras que desde el S, el área de aporte del sector medanoso, abarca hasta 4 km de lado S-N.

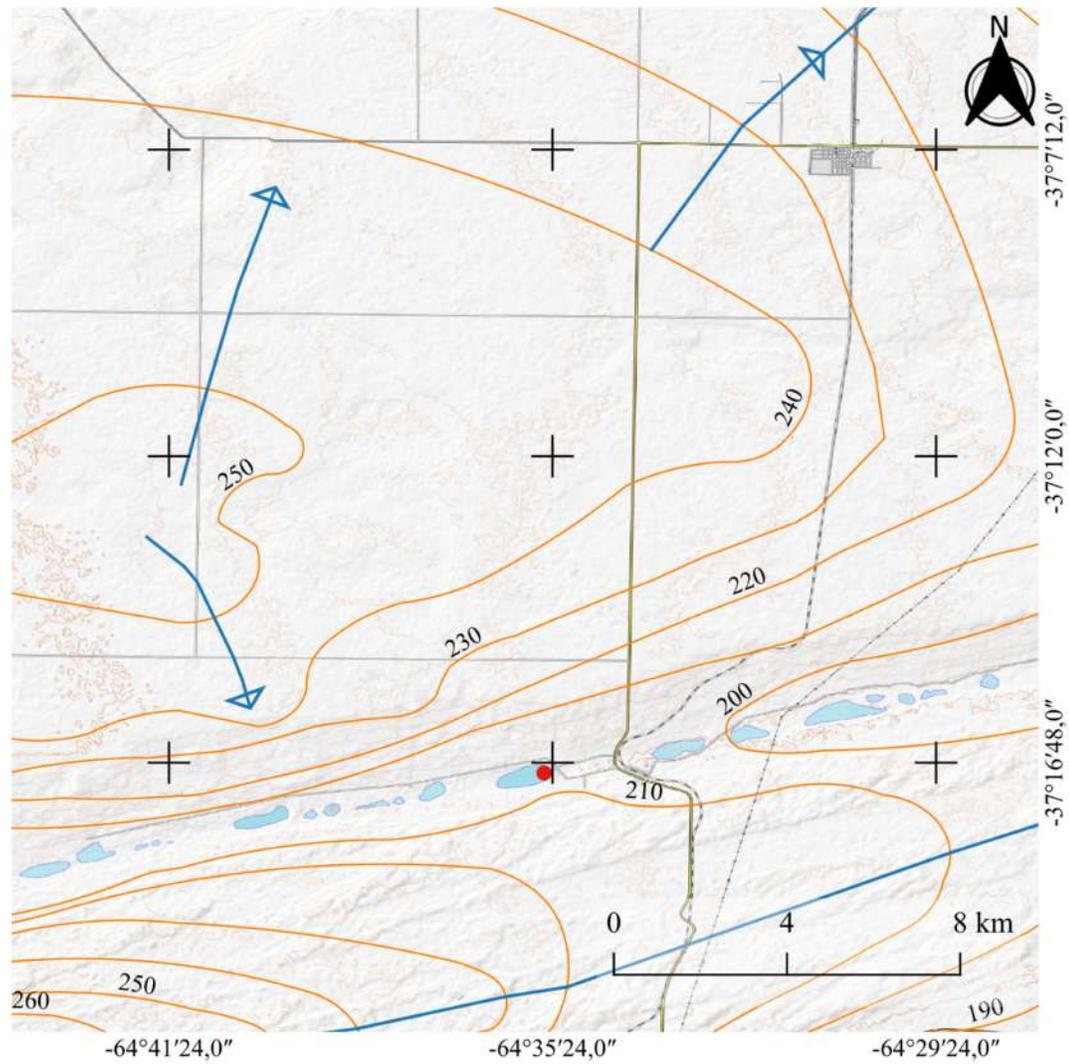


Figura 3.17: Curvas equipotenciales en m s.n.m. (marrón) y líneas de flujo (azul) para la zona Utracán. Punto rojo: Laguna Utracán. Modificado de UNLPam (2017). Esc. 1:120.000.

CAPÍTULO 4

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos del estudio, y en particular comprender la ocurrencia y manifestación de las lagunas permanentes, se utilizó una aproximación que incluyó el empleo de técnicas independientes. Las mismas comprendieron el análisis de la topografía, la medición de tirantes de agua y del nivel freático, muestreos de agua y análisis fisicoquímicos e isotópicos, y la determinación de parámetros limnológicos.

4.1 ZONAS DE ANÁLISIS

A los efectos de analizar los diferentes factores y procesos que definen la ocurrencia de lagunas permanentes, se seleccionaron tres lagunas en diferentes ambientes de la RVT y con distintas salinidades. Como se mencionó, la RVT es donde la ocurrencia de lagunas permanentes es mayor que en el resto de las regiones hídricas. En ese sentido, se escogieron lagunas en el sector inicial, medio y final de los valles transversales.

La Tabla 4.1 detalla el criterio más difundido para clasificar las lagunas de acuerdo al grado de salinidad propuesto por Hammer (1986).

Tabla 4.1: Clasificación de los cuerpos lagunares en función de la concentración de sales (Hammer, 1986).

Laguna	Concentración de sales (g/L)
Hiposalina	3 - 20
Mesosalina	20 - 50
Hipersalina	50 - 100
Hipersalina Extrema	Superior a 100

A partir de la clasificación de las lagunas según su tenor salino y a lo observado en el IRHLP se seleccionaron las lagunas permanentes de La Gitana ubicada en el Meaucó, subsalina (sales entre 0,5g/L y 3g/L); La Salada en Parque Luro y en el Valle de Quehué, hipersalina extrema; y Utracán en el Valle Argentino, hipersalina.

La selección de la laguna La Gitana, perteneciente a la estancia Meaucó (36° 56' 54,4"; 65° 47' 07,1"), era una muy buena posibilidad de análisis debido a la existencia de datos fisicoquímicos históricos del agua y de perforaciones aledañas, sin embargo el imposible ingreso, truncó la posibilidad de ser incorporada como laguna en análisis. También aportó a la idea de sustitución, la circunstancia que la laguna pertenece a la Región de la Planicie Longitudinal con Bajos Medanosos, diferente a la RVT. Por ello, se optó por un cuerpo de agua alternativo en la RVT de las mismas características, es decir de carácter permanente y subsalina, ubicada en la misma zona del Meaucó, a 17 km de La Gitana, en un área de planicie medanosa que constituye las nacientes del Valle Daza.

Las otras dos lagunas por el contrario, fueron seleccionadas a partir de la existencia de información histórica en ambientes diferentes y con condiciones contrastantes desde el punto de vista geomorfológico e hidrológico.

De esta manera, se analizan tres zonas contrastantes, la zona Meaucó con la laguna sin denominación, la zona Parque Luro donde se ubica la laguna La Salada y la zona Utracán donde se ubica la laguna homónima (Figura 4.1).

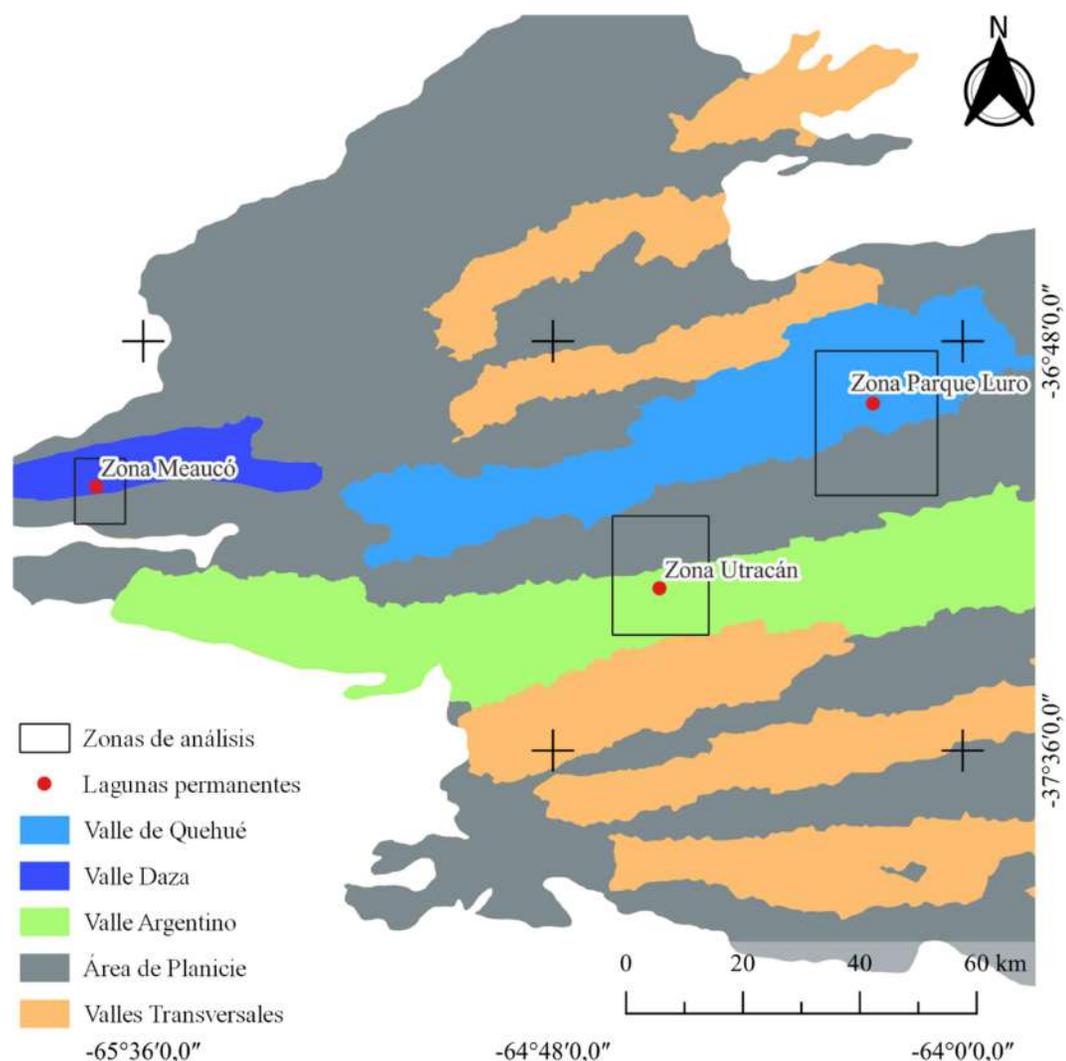


Figura 4.1: Ubicación de las tres lagunas permanentes analizadas en la RVT. Zonas de análisis y su localización respecto de los valles trasversales que las contienen. Esc. 1:900.000.

4.1.1. Zona Meaucó

La laguna (Figura 4.2) donde se extrajeron las muestras se ubica en el departamento de Utracán ($37^{\circ} 04' 56,8''$; $65^{\circ} 41' 25,2''$), justamente en el extremo meridional de la zona del Meaucó en las nacientes del Valle Daza. Se encuentra por consiguiente en una depresión intermédanos con una dinámica relacionada con la pluviometría en forma directa y descarga subterránea local, sin poseer drenaje superficial definido, calificándose la misma como subsalina.



Figura 4.2: Laguna en la zona Meaucó. Foto agosto 2018.

En la zona existen dos formaciones: la formación Meaucó, y la formación Cerro Azul que está constituida por limos, limos arenosos y arenas muy finas limosas muy homogéneas de color castaño rojizo, presenta nódulos carbonáticos y evidencias de procesos pedogenéticos. En el techo rematan en una potente costra calcárea de más de un metro de potencia, que constituye la superficie de la planicie estructural.

Mientras que la formación Meaucó yacen en depósitos arenosos asignados al Pleistoceno superior-Holoceno temprano. Estos sedimentos tapizan el relieve preexistente en muchos sectores suavizando la topografía. Así en el Valle Daza, recostados sobre su ladera N, constituyen un gran manto de arenas y campo de dunas. De un análisis sedimentológico y mineralógico de esta formación, se determinó que se trata de arenas finas muy bien seleccionadas compuestas principalmente por feldespatos muy alterados y un predominio de plagioclasas cálcicas por sobre las sódicas en la fracción liviana. Dentro de los minerales pesados, aproximadamente la mitad son opacos, en tanto que se observa un gran predominio de piroxenos por sobre los anfíboles (Lanzillotta, 2017).

La planicie de agradación eólica está integrada por los depósitos de la Formación Meaucó. Forma una gran llanura arenosa suavemente ondulada y de gran extensión, que domina el paisaje al N-NE de Chacharramendi y aproximadamente a lo largo de la ruta 15. Hacia el E, ya en el ámbito del Valle Daza, existiría un control topográfico que, junto con la dirección de los vientos predominantes, controló la disposición final de los depósitos eólicos. En cambio, cuando el viento, como agente de transporte, no encuentra ningún obstáculo, se desarrolla un extenso campo de médanos y dunas, como se observa en el resto de la superficie ocupada por esta unidad geomorfológica.

La vegetación en el área de dunas próxima a la laguna en estudio es de matas y gramíneas con una cobertura del suelo del 50%, y altura del pastizal de 0 a 0,5 m (IIRNLP, 1980).

En cuanto al acuífero se encuentra en la formación Cerro Azul (Aimar, 1990) y cuando ésta formación está cubierta por los sedimentos de la Formación Meaucó constituye un acuífero extenso y de buena calidad denominado El Meaucó (Giai y Tullio, 1998).

4.1.2. Zona Parque Luro

La laguna La Salada pertenece al departamento de Toay ($36^{\circ} 55' 17,7''$; $64^{\circ} 10' 30,6''$), está dentro de la reserva Provincial Parque Luro (Figura 4.3), actúa como nivel de base del sistema hídrico del Valle de Quehué, con una red de drenaje superficial definida que abarca un área de aporte de gran extensión, cuya activación está relacionada a la existencia de precipitaciones locales y aportes subterráneos. Dicha característica le confiere condiciones de hipersalina extrema.

En el sector SO existe un surgente o semisurgente (Figura 4.3), debido a una perforación realizada en el lugar, los gradientes hidráulicos de las aguas subterráneas van de una zona más alta, hacia la zona deprimida del cuerpo de agua, en sentido S hacia el N.



Figura 4.3: Surgente y Laguna La Salada. Foto agosto 2018.

El área donde se encuentra la laguna La Salada constituye un ambiente de planicie estructural cubierta por una costra calcárea que cubre a su vez estratos limolíticos. El trabajo de modelado eólico completó la formación de una serie de depresiones alargadas con rumbo SO-NE,

que disectan la planicie fraccionándola en unidades menores denominadas mesetas. En el fondo de los valles es habitual la presencia de mantos o cordones arenosos (Calmels, 1996).

La zona pertenece a una unidad geomorfológica denominada planicie de agradación con costra calcárea. Se trata de un sector de llanura suavemente ondulada, caracterizada por la presencia de una costra calcárea ubicada en la parte superior de esas geoformas mesetiformes, cubiertas superficialmente por un delgado manto de arena, a partir del cual han evolucionado los suelos de la región. El suelo dominante es un haplustoléntico cuyas principales limitaciones son la poca profundidad de sus perfiles y su textura que se torna susceptible a la erosión eólica. Las geoformas existentes son postmiocénicas. El sistema morfogenético eólico mantiene el predominio sobre los demás, en tanto que las acciones hídricas desempeñan un papel más reducido debido a los pequeños gradientes, a la textura, estructura y permeabilidad de los suelos. No existe actualmente una red hidrográfica integrada. Además de los haplustoles énticos situados en las partes elevadas del relieve y en los bajos, se encuentran ustipsamientos típicos en los terrenos en declive.

En el Valle de Quehué, la vegetación es combinación de un arbustivo alto y arbóreo bajo, junto a un estrato gramíneo. La cobertura del suelo es del 20% con una altura de 2 a 4 m.

En el arbóreo bajo la cobertura es del 50% con una altura de 1 a 2 m. La superficie natural posee impacto por la actividad agroganadera desarrollada en la zona.

Los suelos característicos en la zona son arenosos y arena limosos que se asientan sobre un manto calcáreo, dicho manto se encuentra entre 0,5 y 1,8 m de profundidad cuyo espesor promedio ronda entre los 80 cm a 1 m (IIRNLP, 1980).

4.1.3. Zona Utracán

La laguna de Utracán se ubica en el departamento de Utracán ($37^{\circ} 26' 54,7''$; $65^{\circ} 04' 28,5''$), y fue declarada “*Reserva Natural Municipal Balneario Laguna de Utracán*” por la localidad de General Acha (Figura 4.4). La laguna se localiza en el flanco N del Valle Argentino, entre el cordón medanoso central y la meseta que lo limita por el N. La calidad del agua de la laguna está estrechamente ligada a los flujos de recarga en el cordón medanoso y la descarga subterránea, registrando típicamente una condición hipersalina.



Figura 4.4: Laguna de Utracán. Foto de agosto 2018.

El basamento para la zona en estudio donde está contenida la laguna de Utracán está constituido principalmente por rocas metamórficas de grado mediano como anfibolitas y gneises de composición granítica. La principal característica de esta roca es el tamaño de sus cristales, respondiendo a la estructura general del sistema de las Sierras Pampeanas. La mayoría de las pegmatitas están constituidas esencialmente por cuarzo y un feldespatos alcalinos y con minerales accesorios como turmalina. El feldespato se altera fácilmente en caolín o sericita (Schulz, 2004). También se encuentran sedimentos que se apoyan directamente sobre el basamento cristalino, recubiertos por limos arcillosos de la formación superior. Estos sedimentos serían de origen hídrico con un posterior modelado eólico que dio origen a las planicies de agradación de la región Central de La Pampa.

El perfil estratigráfico de la zona está constituido por la Formación Pampa, sobre la cual se apoya la Formación Junín integrada principalmente por arenas finas, de carácter suelto y luego la Formación Maracó constituida por materiales sueltos producto de la erosión de las márgenes superior del Valle y, sobre todo las mesetas o planicie pampeana, disminuyendo el tamaño de los materiales desde la base hacia el techo. Es importante destacar que esta Formación no se presenta en forma continua a lo largo del Valle, sino que su presencia disminuye hacia el E.

Con respecto al relieve, la laguna se ubica en el fondo del Valle Argentino donde las mesetas son planas a suavemente onduladas, encenrándose en algunas de ellas pequeñas

depressiones. Las pendientes abruptas son con inclinaciones de 1,75% a 2,50% y en ellas se distinguen escalones que probablemente corresponden a antiguas terrazas. Las planicies que separa el valle están coronadas por una capa de carbonato de calcio (tosca) sumamente dura y recubiertas por un fino manto arenoso y que, debido a su resistencia a los procesos erosivos ha permitido modelar este típico relieve. Es de destacar las distintas construcciones de las paredes laterales del valle, por un lado, la pared S presenta mayores irregularidades, posiblemente debido a una menor resistencia de los mantos de tosca del lugar que permitieron una mayor erosión que se transformó en cañadones o incisiones orientados hacia los niveles más bajos del valle y dio lugar a la formación de lagunas, salitrales o cursos de agua temporarios siguiendo la pendiente longitudinal del valle.

Según el IIRNLP en esta área dominan los Calciustoles típicos y Haplustoles ácuicos, y en algunos perfiles se puede encontrar un horizonte de acumulación del tipo B cámbico o B textural. No se han observado argilanes por lo que no se trata de un horizonte argílico. Son suelos de familia arenosa, silíceo, térmico con buen contenido orgánico dentro de los 0,25 m y aparece a continuación un horizonte con alto contenido calcáreo secundario. Estos suelos están muy influenciados por la descarga de la zona medanosa debido principalmente a los cambios estacionales, de lluvias y temperaturas. Todos se ven reflejado en las oscilaciones de los niveles freáticos y provoca cambios importantes en las condiciones de los suelos ya que es muy variable la humedad edáfica y en muchas ocasiones de ústico pasa a údico e inclusive a ácuico. En este tipo de suelos es importante tener en cuenta los procesos de salinización por el motivo mencionado anteriormente y además los procesos de oxidación-reducción que se traduce en un color moteado bien característico que se lo puede identificar fácilmente. También existen suelos salortidos acuólicos, familia arenosa, silíceo, térmico.

Los niveles freáticos en el área de descarga se encuentran cercanos al nivel de la superficie y el agua es de alta salinidad, no aprovechable por las plantas. Se incluyen otro tipo de suelos de menor importancia como en los faldeos del valle, Torripsamentos ústicos próximos a las pendientes y haplustoles arídicos en la fase salina cuando se encuentran cercanos a las lagunas.

4.2. ANTECEDENTES E INFORMACIÓN RECOLECTADA

La recopilación bibliográfica básica, interpretación e integración de la misma suministró una base conceptual para el desarrollo del proyecto.

4.2.1. Cartografía y modelos digitales de elevación

Del Catastro de la Provincia de La Pampa se obtuvieron las cartas topográficas detalladas en la Tabla 4.2. Georreferenciadas, se recortaron para montarlas y facilitar el manejo. De ellas se extrajeron los puntos con cotas absolutas, y las curvas de nivel proporcionadas se utilizaron junto al

modelo digital de elevación (MDE) del IGN para generar un modelo propio local de elevación en cada una de las tres zonas de análisis.

Las cotas absolutas del NF de los puntos de medición y puntos de interés, donde no había cota, se obtuvieron de la resta a los MDE de cada zona, los valores de profundidad medido en campo del NF o datos de nivel donde correspondiere.

El sistema de proyección utilizado en las cartas es Gauss-Krüger, se re proyectó a WGS-84, EPSG 4326.

Tabla 4.2: Cartas topográficas de catastro, Provincia de La Pampa, para las zonas de estudio Meaucó, Parque Luro y Utracán. Proyección Gauss-Krüger. El valor de la equidistancia de las curvas de nivel se encuentra en metros.

Hoja	Nombre	Zona	Escala	Levantamiento	Equidistancia
3766-10	ESTANCIA SANTA MARÍA	Meaucó	1:100.000	1969	10
3733-16	JAGÜEL DEL MONTE	Meaucó	1:100.000	1969	10
3766-22	CHACHARRAMENDI	Meaucó	1:100.000	1971	10
3763-13-4	ESTANCIA LA SEGUNDA	Parque Luro	1:50.000	1968	5
3763-13-3	NAICÓ	Parque Luro	1:50.000	1968	5
3766-24-4	UTRACÁN	Utracán	1:50.000	1968	5
3766-30-2	GENERAL ACHA	Utracán	1:50.000	1968	5

Los modelos del IGN fueron armados de la corrección y fusión de las imágenes SRTM+ elaboradas por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), entre otras, con una resolución espacial de 30 m, una precisión de altitud aproximada de ± 15 m, y fueron relevadas en el año 2000 por un sistema de radar especialmente modificado a bordo del transbordador espacial Endeavour. Junto a las imágenes AW30D elaboradas por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), que tienen una resolución espacial de 30 m, una precisión de altitud aproximada de ± 5 m, y fueron relevadas por el sensor óptico pancromático PRISM en el satélite DAICHI (ALOS) que funcionó de 2006 al 2011. El producto obtenido de la corrección y conjugación, MDE-Arv2.0 que distribuye el IGN, tiene una resolución espacial de 30 m y una precisión vertical aproximada de 2 m (Figura 4.5).

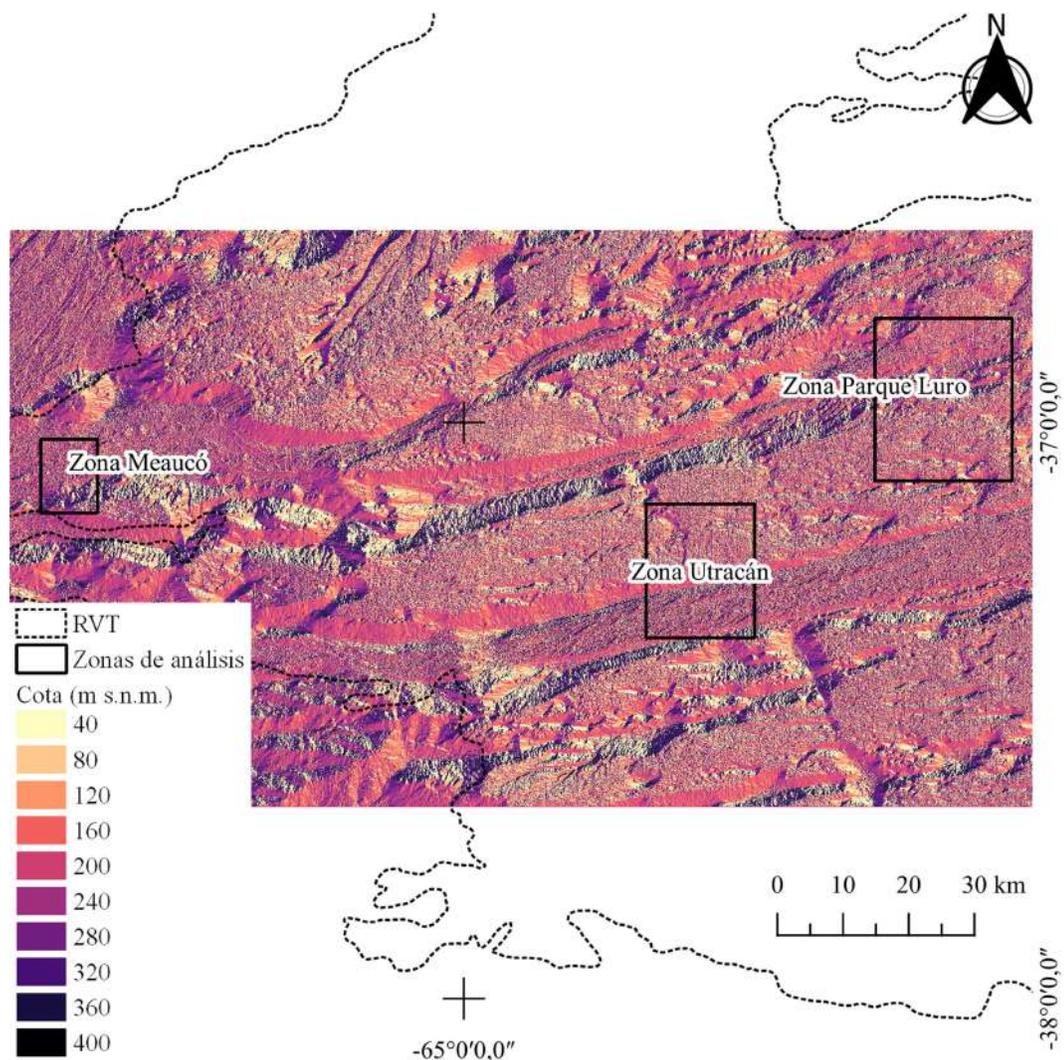


Figura 4.5: Modelo digital de elevación (MDE) obtenido del Instituto Geográfico Nacional de la Argentina (IGN) para la RVT y las zonas de análisis. Esc. 1:80.000.

La Figura 4.6 incluye la superposición de la carta topográfica de escala 1:100.000 de Chacharramendi, junto al MDE extraído del IGN. Las curvas de nivel de la carta tienen una equidistancia de 10 m y en la zona existen puntos fijos y datos extraídos de la carta.

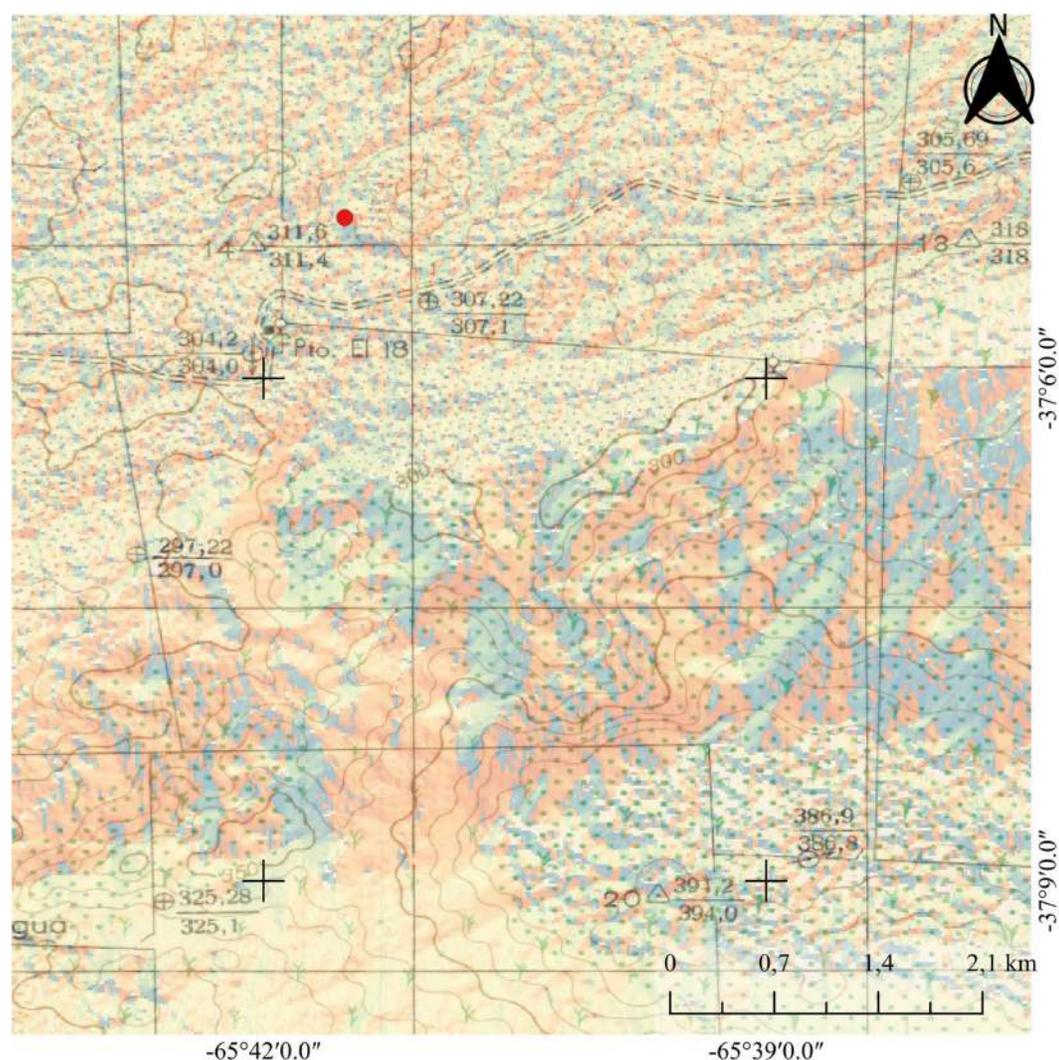


Figura 4.6: Carta Topográfica de Chacharramendi 1:100.000 (equidistancia: 10 m) y MDE del IGN de la zona Meaucó. Punto rojo señala la laguna en la zona Meaucó. Esc. 1:35.000.

Las Figura 4.7 comprende la conjunción de las cartas topográficas denominadas la estancia La Segunda (color) y Naicó (blanco y negro) de escala 1:50.000, se ubicaron también los puntos de muestreo en campo, junto al MDE del IGN. Las curvas de nivel de las cartas tienen una equidistancia de 5 m.

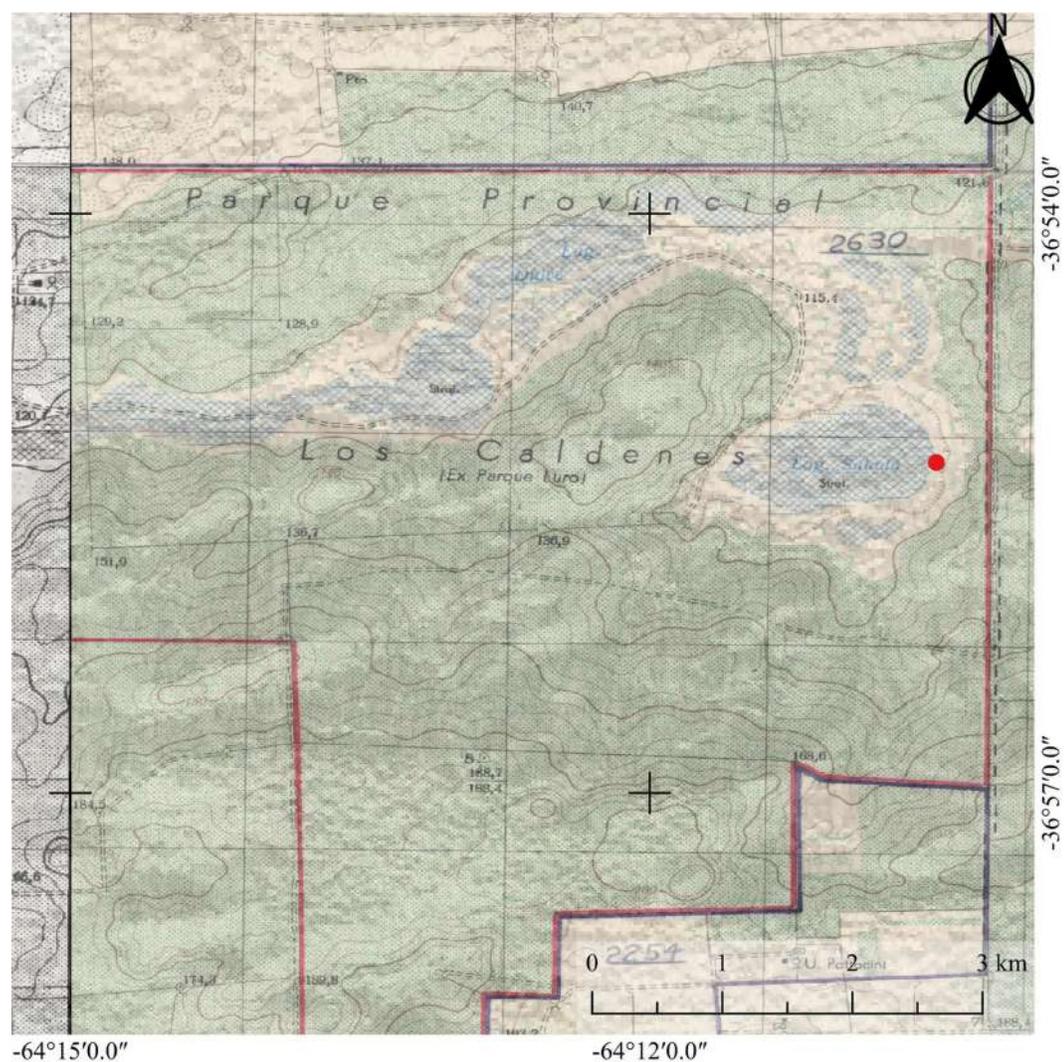


Figura 4.7: Carta Topográfica 1:50.000 (equidistancia: 5 m) de la estancia La Segunda (color) y Naíco (blanco y negro), y MDE del IGN de la zona Parque Luro. Punto rojo señala la laguna en la zona Parque Luro. Esc. 1:40.000.

Para la conformación de la Figura 4.8 se utilizó la carta topográfica de Utracán de escala 1:50.000, se ubicaron también los puntos de muestreo en campo, junto al MDE del IGN.

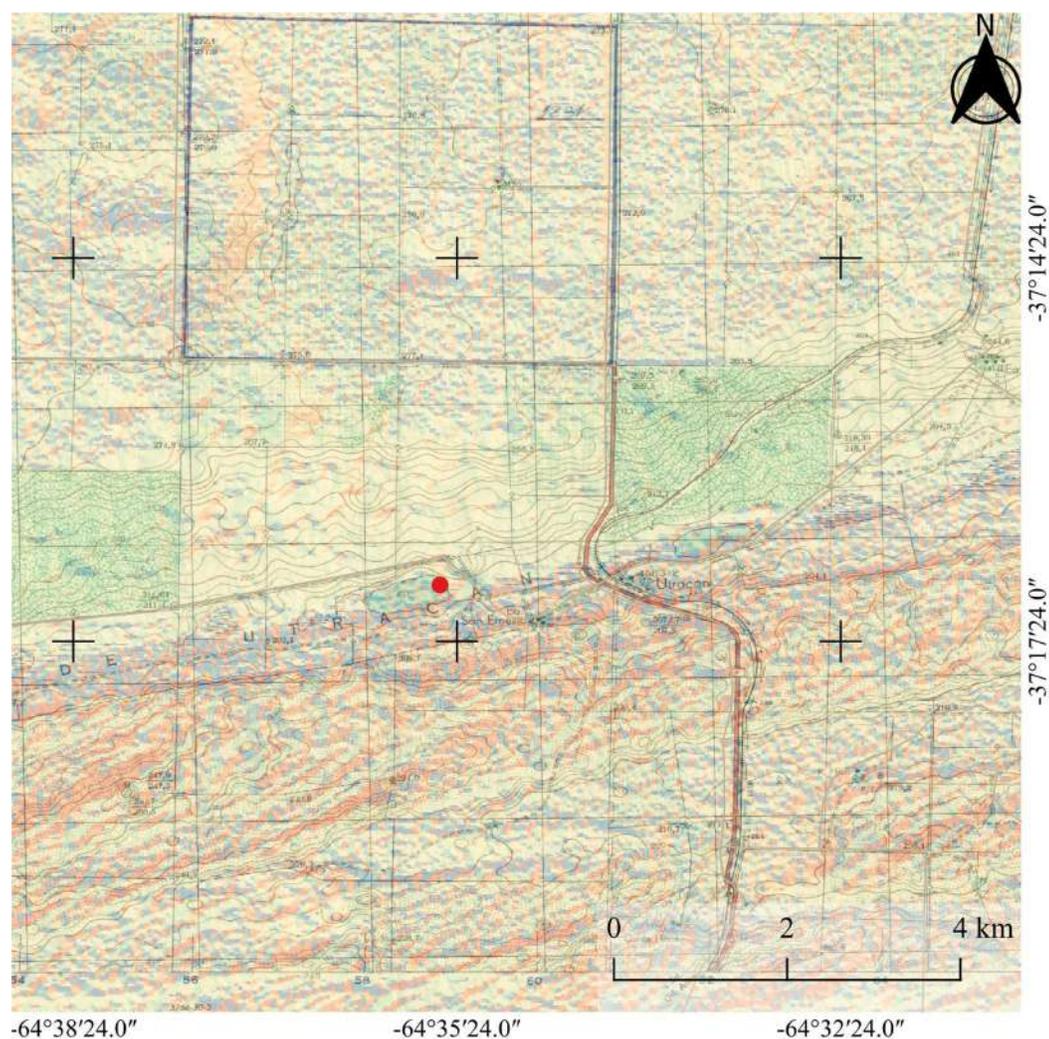


Figura 4.8: Carta Topográfica 1:50.000 (equidistancia: 5 m) de Utracán y MDE del IGN de la zona Utracán. Punto rojo señala la laguna en la zona Utracán. Esc. 1:60.000.

4.2.2. Variación del nivel freático

La existencia de información freaticométrica en la RVT incluye registros del nivel freático (NF) en las formaciones acuíferas del Valle Argentino y del Meaucó operados por la Administración Provincial del Agua (APA) de La Pampa. Estos datos son de suma importancia para el estudio, en especial al complementarse con los datos hidroquímicos medidos en campo.

En la Figura 4.9 se puede ver los cinco freáticos en la zona medanosa de Utracán (FU). Se posee una serie de registro de 1981 hasta la actualidad, con una frecuencia de registro aproximadamente mensual. En la Tabla 4.3 se muestran las coordenadas geográficas y las cotas absolutas de los cinco freáticos indicados.

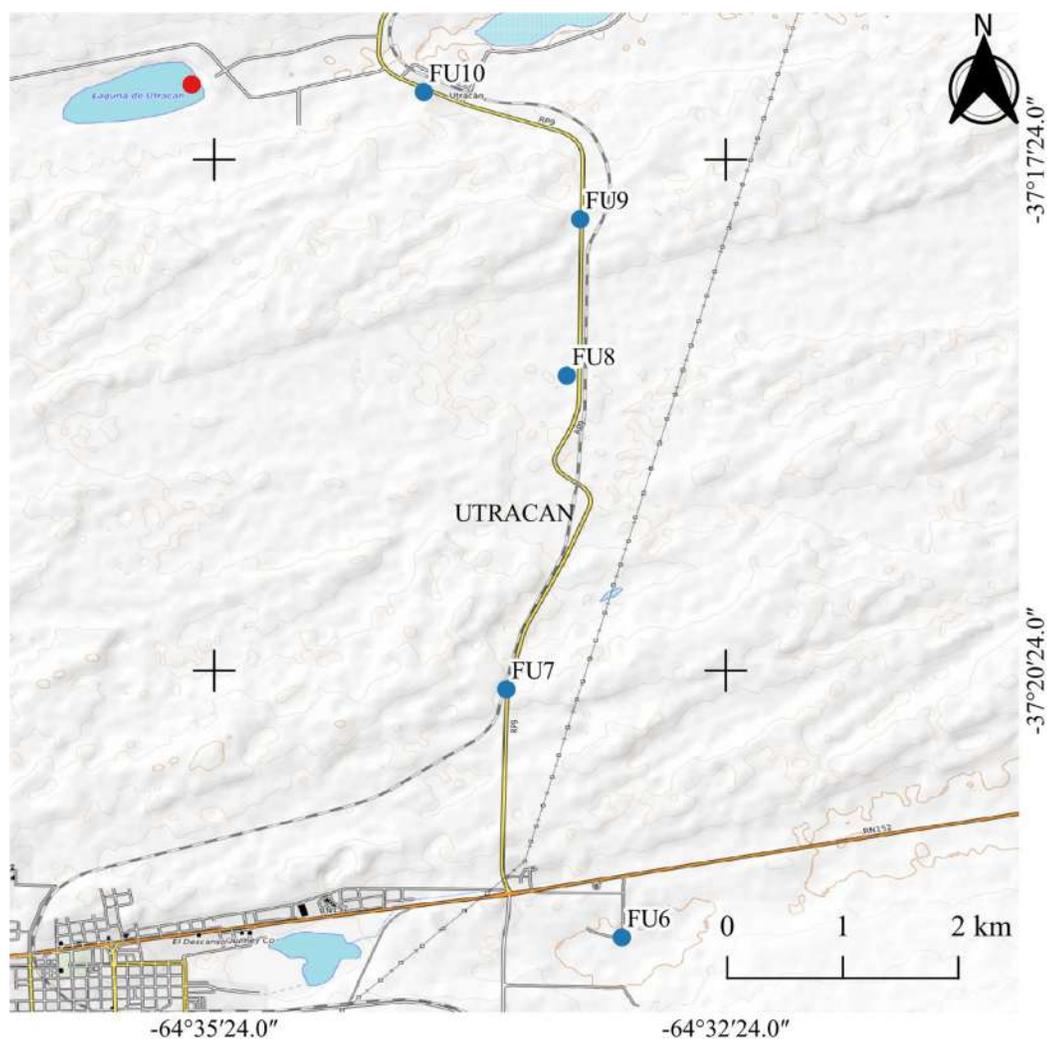


Figura 4.9: Red de freaímetros dispuestos en el cordón medanoso de la zona de Utracán a General Acha; FU6, FU7, FU8, FU9 y FU10. Punto rojo, laguna Utracán. Esc. 1:45.000.

Tabla 4.3: Coordenadas Geográficas de los freaímetros ubicados en el cordón medanoso desde Utracán a General Acha. Fecha de inicio del registro 1981. Cotas extraídas del MDE en m s.n.m.

Freaímetro	Cota	Latitud	Longitud
FU6	197,3	37° 22' 00,3"	64° 33' 00,9"
FU7	223,7	37° 20' 30,6"	64° 33' 41,2"
FU8	217,8	37° 18' 40,1"	64° 33' 19,9"
FU9	215,7	37° 17' 45,0"	64° 33' 15,2"
FU10	204,7	37° 17' 00,2"	64° 34' 10,2"

En la zona Meaucó, APA posee una red de freaímetros (FM1, FM2, FM3 y FM4) y un freaígrafo (FM5) que describen la variación del NF desde 1981 para los freaímetros, y desde 04/1996 el freaígrafo. Se consideró importante los valores obtenidos por ser una zona de iguales características al de la laguna analizada en zona Meaucó (Figura 4.10).

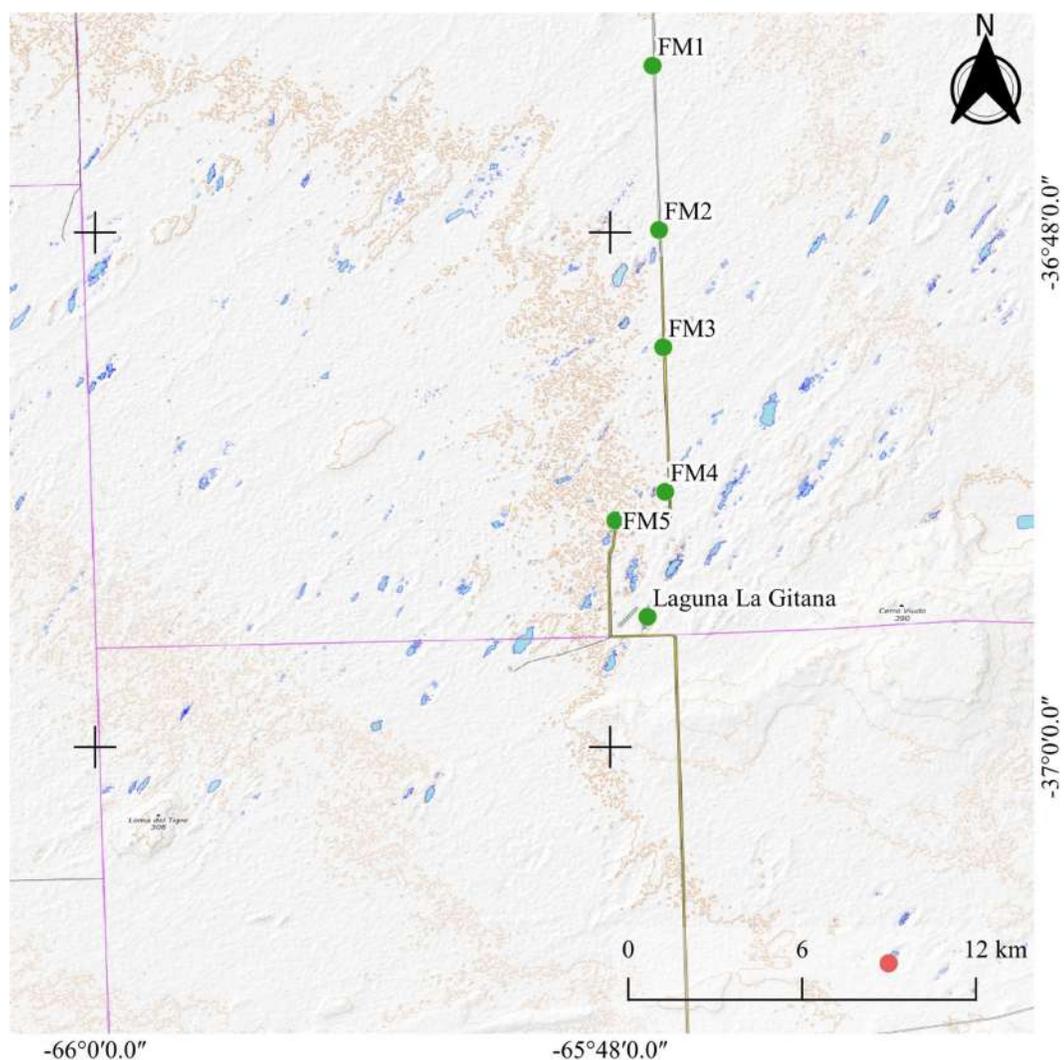


Figura 4.10: Red de frentímetros dispuestos en la zona del Meaucó; FM1, FM2, FM3 y FM4. Frentígrafo FM5. Laguna La Gitana. Punto rojo, laguna sin nombre de zona Meaucó. Esc. 1:180.000.

En la Tabla 4.4 se encuentran, medidos por APA, las coordenadas y las cotas absolutas de los cuatros frentímetros y el frentígrafo en la zona del Meaucó.

Tabla 4.4: Coordenadas Geográficas de los frentímetros (FM1, FM2, FM3, y FM4) y el frentígrafo (FM5) ubicados en la zona del Meaucó. Cota de boca de pozo de la APA en m s.n.m.

Frentímetro	Cota boca pozo	Latitud	Longitud
FM1	305,1	36° 44' 06,5"	65° 47' 00,9"
FM2	306,2	36° 47' 56,3"	65° 46' 51,8"
FM3	304,0	36° 50' 40,5"	65° 46' 46,0"
FM4	302,4	36° 54' 02,8"	65° 46' 43,2"
FM5	299,6	36° 54' 42,8"	65° 47' 52,7"

4.2.3. Datos meteorológicos

A través de la APA se pudo acceder a la información pluvial acumulada de manera mensual en las diferentes localidades en la región en estudio. También se accedió a los datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Estancia Meaucó (EM) y A puro campo (EAPC). Figura 4.11 y Tabla 4.5.

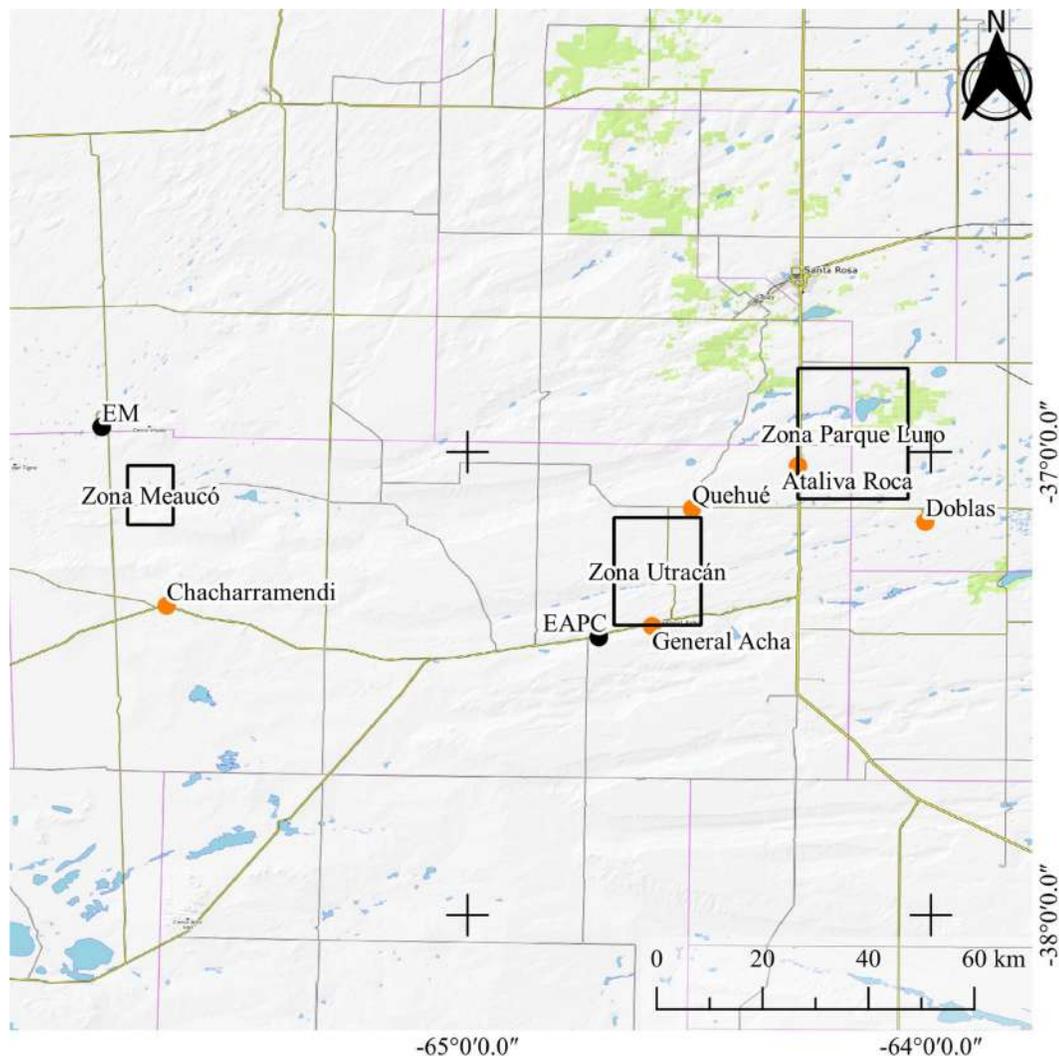


Figura 4.11: Detalle de información meteorológica en el área de estudio. Negro: Estaciones meteorológicas Meaucó (EM) y A puro campo (EAPC). Marrón: estaciones pluviométricas (Chacharramendi, Ataliva Roca, Quehué, Doblas y General Acha). Esc. 1:1.000.000.

En todas las estaciones pluviométricas, las series se extienden hasta los primeros meses o semestre del 2019.

Tabla 4.5: Estaciones meteorológicas, Estancia Meaucó (EM) y Estancia A puro campo (EAPC). Estaciones pluviométricas.

Estación meteorológica	Serie	Estación pluviométrica	Serie
EM	09/1996 - 01/2020	Chacharramendi	1962 - 2019
EAPC	08/2013 - 03/2020	Ataliva Roca	1962 - 2019
Variable relevada	Temperatura	Quehué	1921 - 2019
	Humedad	Doblas	1921 - 2019
	Viento	General Acha	1921 - 2019
	Presión		
	Precipitación		
	Radiación solar		

4.2.4. Isótopos

En el portal NUCLEUS del Organismo Internacional de Energía Atómica (www.iaea.org, 2021) existe una base de datos con contenido de isótopos estables de la molécula de agua de precipitaciones pluviales. En La Pampa hay tres estaciones: El Escabel, Padre Buodo y Santa Rosa. Los tres lugares se encuentran dentro de la RVT (Figura 4.12).

En la Tabla 4.6 se muestran las características de las estaciones de muestreo, periodo temporal de tomas de información, coordenadas de las mismas e instituciones que relevan los datos utilizados en el sistema. De las lagunas consideradas la más retirada es la del Meaucó que se encuentra a 60,6 km del El Escabel y 123,1 km de Padre Buodo.

Los análisis fueron realizados en el Instituto de Geocronología y Geología Isotópica (INGEIS) dependiente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN) de la Universidad de Buenos Aires (UBA).

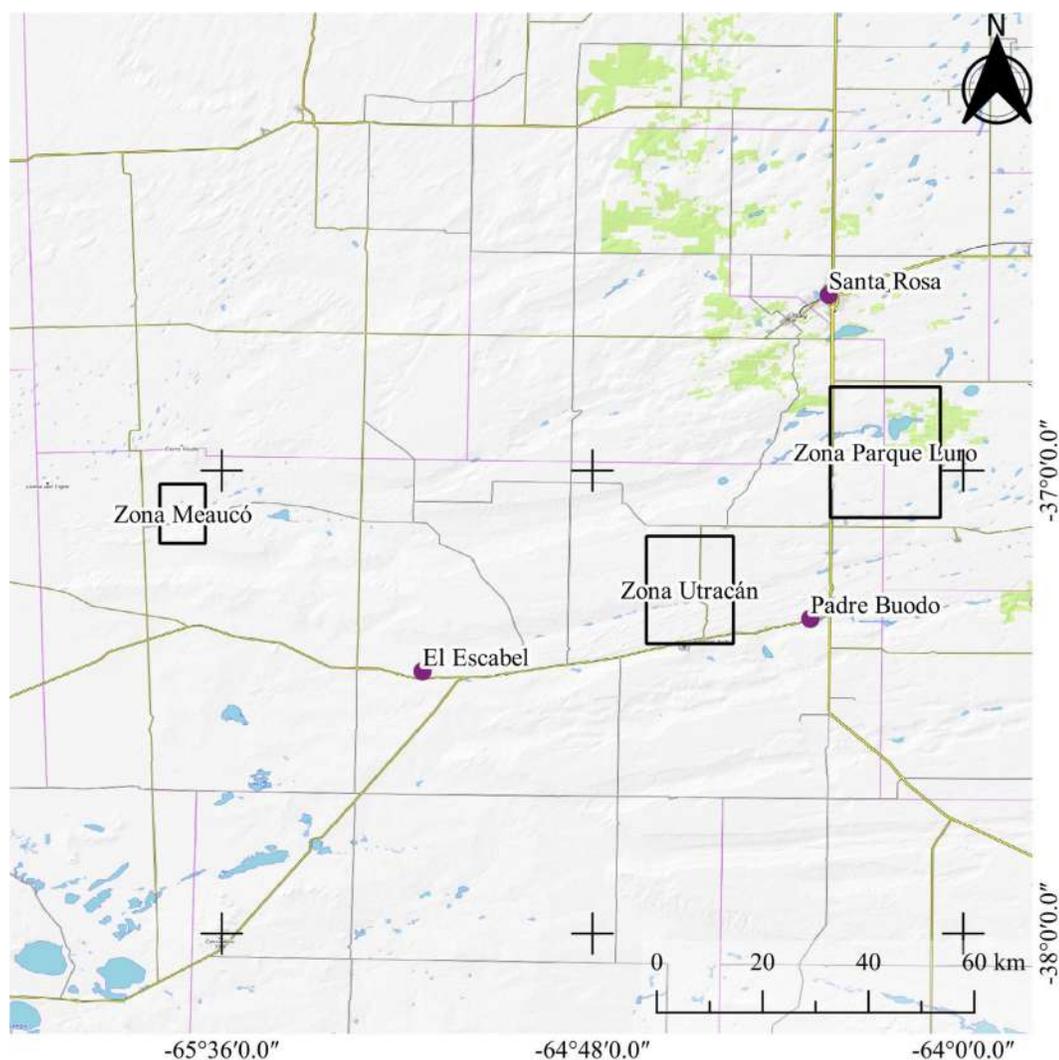


Figura 4.12: Puntos donde se han recolectados isótopos estables de la molécula de agua de precipitaciones pluviales. El Escabel, Padre Buodo y Santa Rosa. Información del portal NUCLEUS del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Esc. 1:1.000.000.

Tabla 4.6: Estaciones en la Provincia de La Pampa donde se registró el contenido de isótopos estables de la molécula de agua de precipitación.

Estación	Coordenadas	Institución Colectora	Registro
El Escabel	37° 26' 65° 12'	Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam)	06/2000 12/2001
Padre Buodo	37° 19' 64° 20'	Cooperativa de Servicios Públicos de Gral. Acha (COSEGA) Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam)	09/1997 05/2002
Santa Rosa	36° 01' 64° 0,5'	Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam)	08/2014 11/2018

4.3. TÉCNICAS Y EQUIPOS

Los equipos utilizados en campo pertenecen en su mayoría a la Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa (SRHLP).

4.3.1. Equipos usados en campo

Para georreferenciar los puntos necesarios a relevar, se utilizó un receptor del sistema de posicionamiento global (GPS) Garmin Etrex monocromático.

El medidor de oxígeno disuelto (OD) utilizado es modelo DO-5510FEATURES (Figura 4.13). Medidor digital que posee una sonda de tipo polarográfico con temperatura incorporada.

Se utilizó para medir la profundidad del nivel freático en los molinos y pozos, una sonda graduada de 50 m (Figura 4.14).



Rango	OD	0 a 20 mg/L
	O ₂ en aire	0 a 100%
	T	0 a 50 °C
Resolución	OD	0,1 mg/L
	O ₂ en aire	0,1%
	T	0,1 °C
Exactitud	OD	±0,4 mg/L
	O ₂ en aire	±0,7%
	T	±0,8 °C

Figura 4.13: Medidor de oxígeno marca LUTRON modelo DO-5510 FEATURES. Oxígeno disuelto (OD), Oxígeno en aire (O₂) y Temperatura (T).



Figura 4.14: Sonda graduada de 50 m para medir la profundidad del nivel freático.

La transparencia en lagunas se midió con el disco de Secchi (DS), Figura 4.15. La conductividad eléctrica (CE) con el medidor de marca Thermo scientific modelo Orion 3 Star, y pH con el medidor de marca Testo modelo 206 (Figura 4.16).



Figura 4.15: Disco de Secchi (DS).



Medidor de CE		
Rango	CE	0 a 3.000 mS/cm
	STD	0 a 19.999 mg/L
	T	-5 a 105 °C
Resolución	CE	4 cifras hasta 0,01 μS/cm
	STD	1 mg/L
	T	0,1 hasta 99,9°C
Exactitud	CE	0,5%±1 dig. o 0,01 μS/cm
	STD	0,5%±1 dígito
	T	±0,1°C
Medición de CE con sonda de 1-200 mS/cm.		
Medidor de pH		
Rango	pH	0 a 14 pH
	T	0 a +60°C
Resolución	pH	0,01 pH
	T	0,1 °C
Exactitud	pH	±0,02 pH
	T	±0,4°C

Figura 4.16: Medidor de conductividad eléctrica (CE) marca Thermo scientific modelo Orion 3 Star, y medidor de pH marca Testo modelo 206. Sólidos totales disueltos (STD) y Temperatura (T).

4.3.2. Métodos de muestreo y parámetros de campo

En las lagunas los parámetros medidos directamente en campo fueron la temperatura (T), pH, CE y de forma indirecta la salinidad (constante de equipo 0,68), DS y OD. En las perforaciones y molinos la temperatura, pH, CE y profundidad del NF.

Las muestras se colocaron en envases plásticos de 1 litro sin uso, previamente enjuagadas con agua destilada y secadas a temperatura ambiente. Las botellas en el momento de recolectar el agua fueron colmadas evitando dejar burbujas o cámara de aire.

En clorofila *a* las muestras fueron tomadas en bidones de 5 litros sumergiéndose el pico a 15 cm de profundidad. Luego se colocó dentro de una bolsa de plástico negra y se llevaron en la heladera en vehículo hasta el laboratorio.

4.3.3. Métodos de laboratorios

A través de la SRHLP se enviaron las muestras para posterior análisis al Laboratorio Integral ESAGRO, La Pampa Agrícola y Laboratorio GEA (Grupo de Estudios Ambientales) del Instituto de Matemáticas Aplicadas San Luis UNSL-CONICET. Los parámetros analizados fueron los iones mayoritarios, elementos minoritarios e isótopos estables de molécula de agua ^{18}O y ^2H .

Tabla 4.7: Técnicas analíticas de laboratorios utilizadas para los parámetros en las muestras de agua.

Parámetro	Método analítico ^(1, 2, 3, 4, 5, 6)
pH	SM 4500 H+ (pH value) - B Electrometric method ⁽¹⁾
Conductividad Eléctrica	SM 2510 Conductivity - B (Laboratory Method) ⁽¹⁾
Residuo Seco	SM 2540 Solids - B (Total Solids Dried at 103-105 °C) ⁽¹⁾ / EPA- Methods 160.3 (Residue, Total, Gravimetric, Dried at 103-105°C) ⁽²⁾
Alcalinidad total	SM_2320 Alkalinity - B Titration Method ⁽¹⁾
Dureza Total	SM 2340 Hardness - C EDTA Titrimetric Method ⁽¹⁾
Cloruro (Cl ⁻)	SM 4500 Cl ⁻ - B, Argentométric Method ⁽¹⁾
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	SM 4500 - SO ₄ ²⁻ - E Turbidimetric Method ⁽¹⁾
Calcio (Ca ²⁺)	SM 3500 Ca - B EDTA Titrimetric Method ⁽¹⁾
Magnesio (Mg ²⁺)	SM 3500 Mg - B Calculation Method ⁽¹⁾
Potasio (K ⁺)	Method 8049 - Potassium - Método espectrofotométrico con Tetrafenil Borato ⁽³⁾
Sodio (Na ⁺)	Método espectrofotométrico ZUA (ZincUranilacetico)
Flúor (F ⁻)	SM 4500 F ⁻ Fluoride B. Metodo de la ComplejonaE. ⁽¹⁾
Arsénico (As)	SM 3125 B Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP - MS) Method ⁽¹⁾ / EPA 200.8 ⁽²⁾
Nitrógeno (N ₂ O ₃)	SM 4500 N - C ⁽¹⁾
Nitrato (NO ₃ ⁻)	SM 4500 - NO ₃ ⁻ - Nitrogen (Nitrate) E - Cadmium Reduction Method ⁽¹⁾
Amonio (NH ₄ ⁺)	SM 4500 NH ₃ Nitrogen (Ammonia) C - Titrimetric Method ⁽¹⁾
Hierro (Fe)	EPA 6010 B - Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry ⁽²⁾
Manganeso (Mn)	EPA 6010 B - Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry ⁽²⁾
Sílice (SiO ₂)	EPA 6010 B - Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry ⁽²⁾
Fosforo (PO ₄ ²⁻)	Método Orthophosphate, preconcentración por digestión acida. Lectura espectrofotométrica, directa de fósforo, fosfatos o pentóxido de fósforo.
Coliformes Totales	NMP (Número más Probable). Tubos múltiples.
Pseudomonas aeruginosa	DIN 38411 - Detection of Pseudomonas aeruginosa (k8) ⁽⁴⁾
Isótopos (¹⁸ O; ² H)	Analizador de isótopos de agua de espectroscopía de anillo de cavidad (CRDS) L2120-i (Picarro, USA) acoplado a un módulo de vaporizador (A0211 high-precision vaporizer) y un autoanalizador (A0325). La calibración se realizó utilizando cuatro referencias internas del laboratorio. Cada muestra fue medida ocho veces, de las cuales se utilizaron solamente las últimas tres mediciones para la estimación final de los valores isotópicos de la muestra analizada para evitar la potencial deriva por efecto memoria. Las proporciones de ¹⁸ O/ ¹⁶ O y ² H/ ¹ H están expresadas en notación δ como partes por mil (‰) relativos al Vienna Standard Mean Ocean Water (V-SMOW). La ± 1σ incertidumbre de medición del CRDS es < 0.1 ‰ y < 0.5 ‰ para δ ¹⁸ O and δ ² H, respectivamente.
Clorofila a	Filtrado de un volumen conocido de agua de la laguna a través de filtros de fibra de vidrio Microclar FFG0 - 47WPH, posterior extracción por macerado de los filtros con acetona acuosa y cuatro lecturas con un espectrofotómetro Metrolab 1700, antes y después de acidificación con HCl 0,1 N a los efectos de restar los feopigmentos (APHA ⁽⁵⁾ Arar, E. J ⁽⁶⁾)

¹⁾ APHA, AWWA, WEF (American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21th ed.

²⁾ US EPA (United States Environmental Protection Agency), Index to EPA Test Methods. Revised Edition

April 2003, US EPA New England Region 1 Library Boston, MA USA.

⁽³⁾ HACH 8049 - Tetraphenylborate Method - Espectrofotométrico

⁽⁴⁾ DIN - German Standard Methods for the Analysis of Water, Waste Water and Sludge; Microbiological Methods (group k)

⁽⁵⁾ APHA (American Public Health Association) 1992, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th ed.

⁽⁶⁾ Arar, E. J and Collins G. B., 1997, In Vitro Determination of Chlorophyll a and Pheophytin a in Marine and Freshwater Algae by Fluorescence, US EPA Method 445.0, Revision 1.2.

4.4. MÉTODOS DE CÁLCULO

4.4.1. Conductividad hidráulica

Si se aplica la ecuación de continuidad a la zona no saturada (ZNS), se tiene que el cambio en la humedad (θ) en un determinado tiempo t representa el flujo vertical de agua (q) en la dirección z ($\partial\theta/\partial t = -\partial q/\partial z$). La velocidad de este flujo vertical de agua puede ser de esta manera un indicador de la conductividad hidráulica promedio (K) en la ZNS. Así, si se evalúa tiempo de respuesta del NF luego de ocurrido un evento de precipitación y se conoce la profundidad de la ZNS, es posible inferir K como lo indica la Ecuación 4.1.

$$K = \frac{d}{t} \quad 4.1$$

donde d es el espesor de la ZNS y t es el tiempo transcurrido entre el inicio del evento de precipitación (P) y el cambio o ascenso del NF en respuesta a dicha P que indica que ocurrió la recarga.

4.4.2. Evapotranspiración potencial

De acuerdo a Thornthwaite la evapotranspiración potencial (ETP) se calcula en base a temperatura media mensual, como se detalla en las ecuaciones a continuación:

$$ETP = ETP^* \cdot L \quad 4.2$$

$$ETP^* = 1,6 \left(\frac{10 \cdot t_i}{I} \right)^a \quad 4.3$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1,5} \quad 4.4$$

$$a = 0,492 + 0,0179 I - 0,0000771 I^2 + 0,000000 I^3 \quad 4.5$$

Donde

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/mes),

ETP*: Evapotranspiración potencial sin corregir (mm/mes),

L: Factor de corrección dependiente de las coordenadas del punto de referencia (Dunne y Leopold, 1978),

t_i : Temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$),

I: Índice de calor anual.

4.4.3. Estados tróficos

Para definir los estados tróficos (ET) de cuerpos de agua son de amplia difusión dos procedimientos:

- 1) Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI, Trophic Status Index) de acuerdo a las modificaciones de Aizaki et al., 1981.

Calcula tres índices y luego promedia los resultados, las tres variables consideradas (DS, Fosforo total (PT) y Clorofila *a* (Chl *a*)). El cálculo utiliza DS en metros (TSI_{DS}), la concentración de PT en mg/m³ (TSI_{PT}) y la concentración de Chl *a* en mg/m³ (TSI_{Chl a}).

$$\text{TSI}_{\text{Sec}} = 60 - 14,41 \ln (\text{DS}) \quad 4.6$$

$$\text{TSI}_{\text{PT}} = 14,42 \ln (\text{PT}) + 4,14 \quad 4.7$$

$$\text{TSI}_{\text{Chl } a} = 9,81 \ln (\text{Chl } a) + 30,6 \quad 4.8$$

$$\text{TSI} = (\text{TSI}_{\text{DS}} + \text{TSI}_{\text{PT}} + \text{TSI}_{\text{Chl } a})/3 \quad 4.9$$

Donde de acuerdo a los valores del TSI: (<30) Ultraoligotrófico, (20-40) Oligotrófico, (40-60) Mesotrófico, (60-80) Eutrófico y (>80) Hipereutrófico.

- 2) El Indicador de OCDE (Organización de Cooperación Económica y Desarrollo).

Utiliza la media anual de PT en mg/m³, la media anual eufótica de clorofila *a* (Chl *a*_{md}) en mg/m³, el valor máximo anual de clorofila *a* (Chl *a*_{mx}) en mg/m³ y la profundidad media anual de DS_m en metros, Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Indicador de la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE). Fósforo total (PT), media anual eufótica de clorofila *a* (Chl *a*_{md}), máximo anual de clorofila *a* (Chl *a*_{mx}) y profundidad media anual de DS_m.

Estado trófico	PT mg/m ³	Chl <i>a</i> _{md} mg/m ³	Chl <i>a</i> _{mx} mg/m ³	DS _m m
Ultraoligotrófico	≤ 4	≤ 1	≤ 25	≥ 12
Oligotrófico	≤ 10	≤ 2,5	≤ 8	≥ 6
Mesotrófico	10 - 35	2,5 - 8	8 - 25	6 - 3
Eutrófico	35 - 100	8 - 25	25 - 75	3 - 1,5
Hipereutrófico	≥ 100	≥ 25	≥ 75	≤ 1,5

4.5. CAMPAÑAS DE MUESTREO

4.5.1. Zona Meaucó

En el caso de la laguna en la zona Meaucó se pudo ubicar la perforación para molino indicada como M1 a una distancia de 1,3 km del punto de muestra de la laguna M2. No existe otra perforación a menor distancia de la misma. Esto surge claramente de la información recabada, la recorrida de campo y las imágenes satelitales. (Figura 4.17).

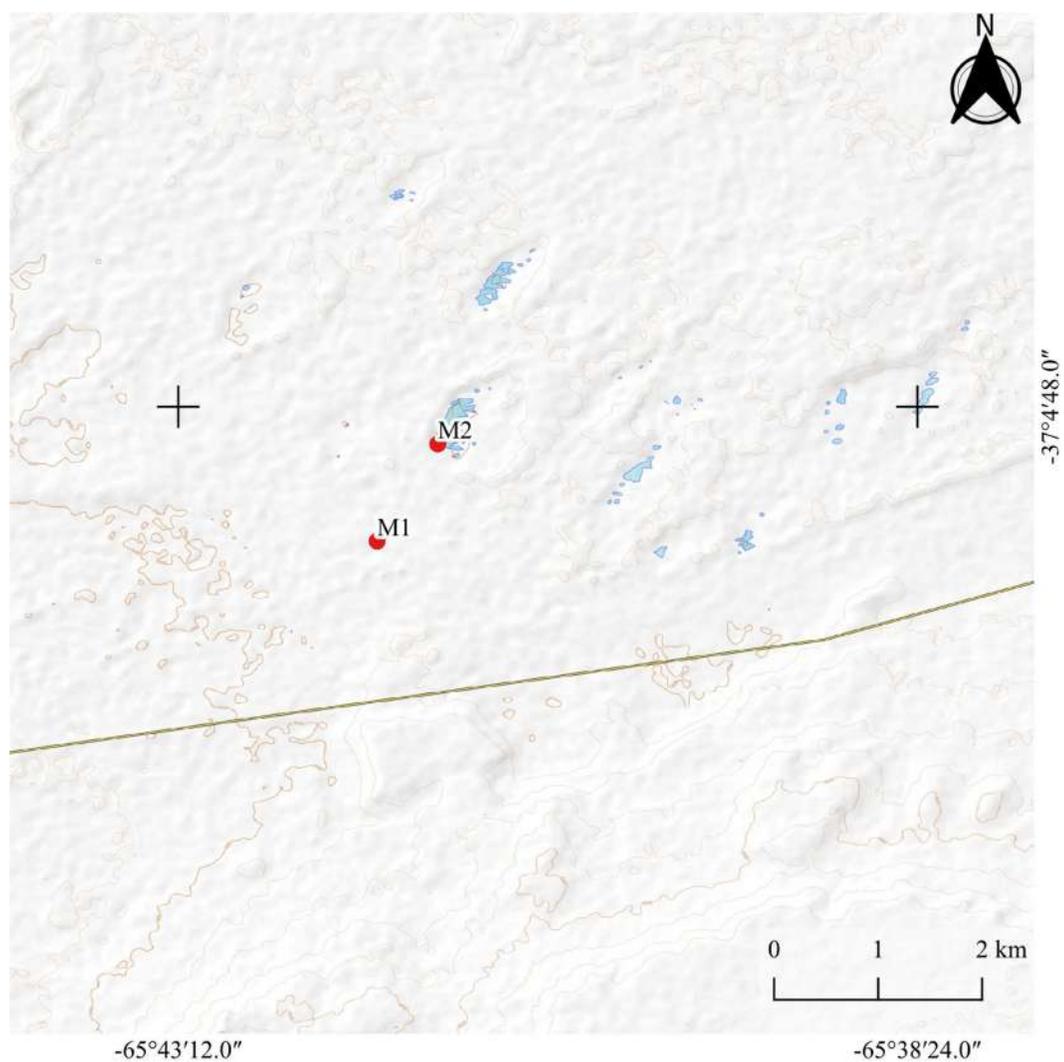


Figura 4.17: Zona Meaucó, puntos de muestreo M1 (agua subterránea) y M2 (agua superficial). Esc. 1:50.000.

En la Tabla 4.9 se muestra la nomenclatura utilizada para los sitios seleccionados de muestreo y las coordenadas de las mismas.

Tabla 4.9: Descripción y ubicación de los sitios de muestreo en la zona Meaucó.

Puntos Muestreo	Descripción	Coordenadas	
M1	Molino para abastecimiento de agua para estanque, bebida de animales.	37° 05' 40,4"	65° 41' 54,5"
M2	Sitio de muestreo de la laguna en el sector SO de la misma.	37° 05' 02,5"	65° 41' 30,9"

En la Tabla 4.10 siguiente, se muestran las fechas de muestreo y análisis realizados.

Tabla 4.10: Muestréos efectuados en la zona Meaucó. Se detallan los sitios, fechas y análisis realizados.

Punto	Estación	Fecha	Determinaciones			
			F-Q	Isótopos	Bacteriológico	En campo
M1	Otoño	26/04/2018	X	x	x	x
	Invierno	06/08/2018	X			x
	Primavera	11/12/2018	X			x
	Verano	01/03/2019	X		x	x
M2	Otoño	26/04/2018	X	x	x	x
	Invierno	06/08/2018	X			x
	Primavera	11/12/2018	X			x
	Verano	01/03/2019	X		x	x

4.5.2. Zona Parque Luro

Los puntos de muestreo del agua subterránea surgen del análisis de las imágenes satelitales, censo de pozos de la APA y recorridas a campo. Habiéndose obtenido las perforaciones S1, S2 y S3; el punto S4 surge en la necesidad de obtener un lugar de muestreo al S de la laguna, ubicado a una mayor distancia que los anteriores, y que pudiera eventualmente representar el nivel freático relacionado con el flujo regional hacia la laguna. No se encontraron otros puntos que pudieran medirse y que representen dicha condición (Figura 4.18).

Se midió en cuatro puntos a diferentes distancias aproximadas de la laguna (S5), el surgente (S3), el más cercano a 5,8 km (S2), uno intermedio en el ingreso al parque 9,7 km (S1), y el más lejano en un campo contiguo a la reserva 12,15 km (S4).

En la Tabla 4.11 se describen los sitios de muestreo en la zona Parque Luro. En la Tabla 4.12 se detallan los muestréos y análisis efectuados en las distintas campañas.

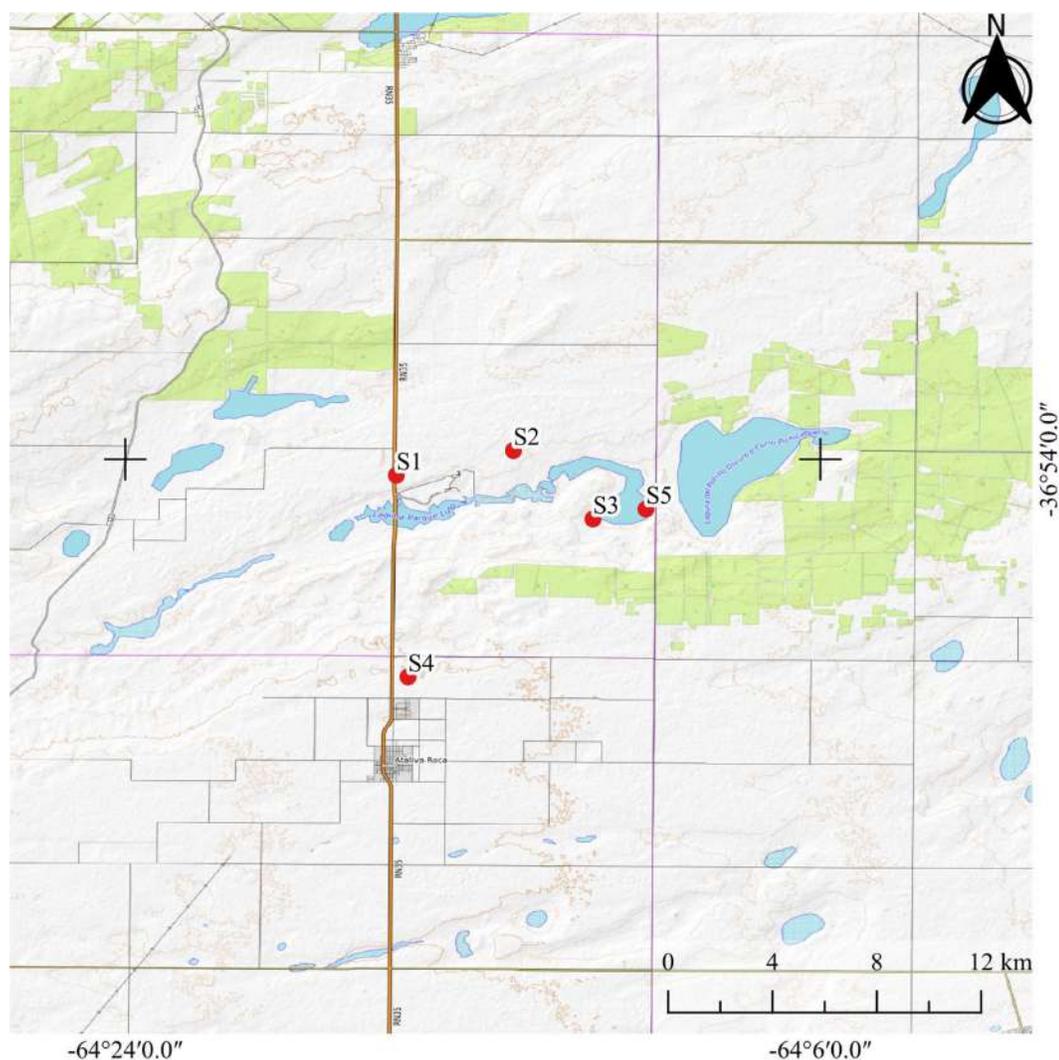


Figura 4.18: Zona Parque Luro, puntos de muestreo S1, S2, S3, S4 (agua subterránea) y S5 (agua superficial). Esc. 1:200.000.

Tabla 4.11: Descripción y ubicación de los sitios de muestreo en la zona Parque Luro.

Puntos Muestreo	Descripción	Coordenadas	
S1	Molino para abastecimiento de agua del servicio en el acceso del Parque Luro. Ubicado a 1 km al N del acceso y paralelo a la ruta 35.	36° 54' 24,6"	64° 16' 58,7"
S2	Molino para abastecimiento de agua en residencia del guardaparque. Ubicado a 5,8 km en dirección NO de la laguna.	36° 53' 46,1"	64° 13' 57,0"
S3	Surgente ubicado en el sector O de la laguna considerada permanente.	36° 55' 32,6"	64° 11' 53,3"
S4	Molino en dirección SO de la laguna a 12,2 km de distancia. A la vera de la ruta 35.	36° 59' 38,1"	64° 16' 40,5"
S5	Sitio de muestreo de la laguna en el sector este de la misma.	36° 55' 17,3"	64° 10' 30,9"

Tabla 4.12: Muestreos efectuados en la zona Parque Luro. Se detallan los sitios, fechas y análisis realizados.

Punto	Estación	Fecha	Determinaciones			
			F-Q	Isótopos	Bacteriológico	En campo
S1	Verano	07/03/2018	x			x
	Invierno	10/08/2018	x	x		x
	Primavera	21/12/2018	x		x	x
	Verano	26/02/2019	x			x
	Otoño	07/06/2019	x			
S2	Verano	07/03/2018	x			x
	Invierno	10/08/2018	x	x		x
	Primavera	21/12/2018	x		x	x
	Verano	26/02/2019	x			x
	Otoño	27/06/2019	x		x	
S3	Verano	07/03/2018	x			x
	Invierno	10/08/2018	x	x		x
	Primavera	21/12/2018	x		x	x
	Verano	26/02/2019	x			x
	Otoño	07/06/2019	x		x	
S4	Verano	07/03/2018				
	Invierno	01/09/2018	x	x		
	Primavera	21/12/2018				
	Verano	26/12/2018	x			x
S5	Verano	07/03/2018				x
	Invierno	10/08/2018	x	x		x
	Primavera	21/12/2018	x		x	x
	Verano	26/02/2019	x			x
	Otoño	27/06/2019	x		x	

4.5.3. Zona Utracán

Al igual que la zona anterior los puntos de muestreo del agua subterránea surgen del análisis de las imágenes satelitales, censo de pozos de la APA, información antecedente y recorrida a campo. En este caso, existía la posibilidad de utilizar un punto ubicado a 19,9 km de la laguna (U1). Como se observa en la Figura 4.19, el mismo representa condiciones de flujo regional hacia el N en lugar de hacia la laguna de Utracán. Igualmente, se midió el nivel freático y se muestreó de manera de tener un punto que represente el ambiente de planicie estructural. Se tomó un punto más cercano al cuerpo de agua a 11 km (U3), en este molino se obtuvieron los datos necesarios de campo. En el punto U7 ubicado a 3,4 km de la laguna, aunque no se pudo medir profundidad del NF, fue útil para el muestreo del agua subterránea. En dirección SE y sobre el cordón medanoso se ubicó un punto de medición a 2,80 km de la laguna (U2). Aunque no se pudo medir profundidad por la configuración

del molino, aportó a la caracterización hidroquímica del flujo subterráneo del área medanosa que llega a la laguna. Se utilizaron también los frentímetros de la APA ubicados a mayor distancia en las partes central y lateral del cordón medanoso. Estos pozos de observación permitieron describir la evolución temporal del NF correspondiente tanto al área de recarga (FU7, FU8, y FU9) como de descarga (FU6 y FU10), ver Figura 4.9.

Se consideraron también los puntos U4 y U5, siendo el primero la perforación que provee de agua al parque recreativo Utracán, y el segundo el surgente ubicado a la vera de la laguna, por entender que los mismos aportaban datos pertinentes por su cercanía a la laguna en estudio.

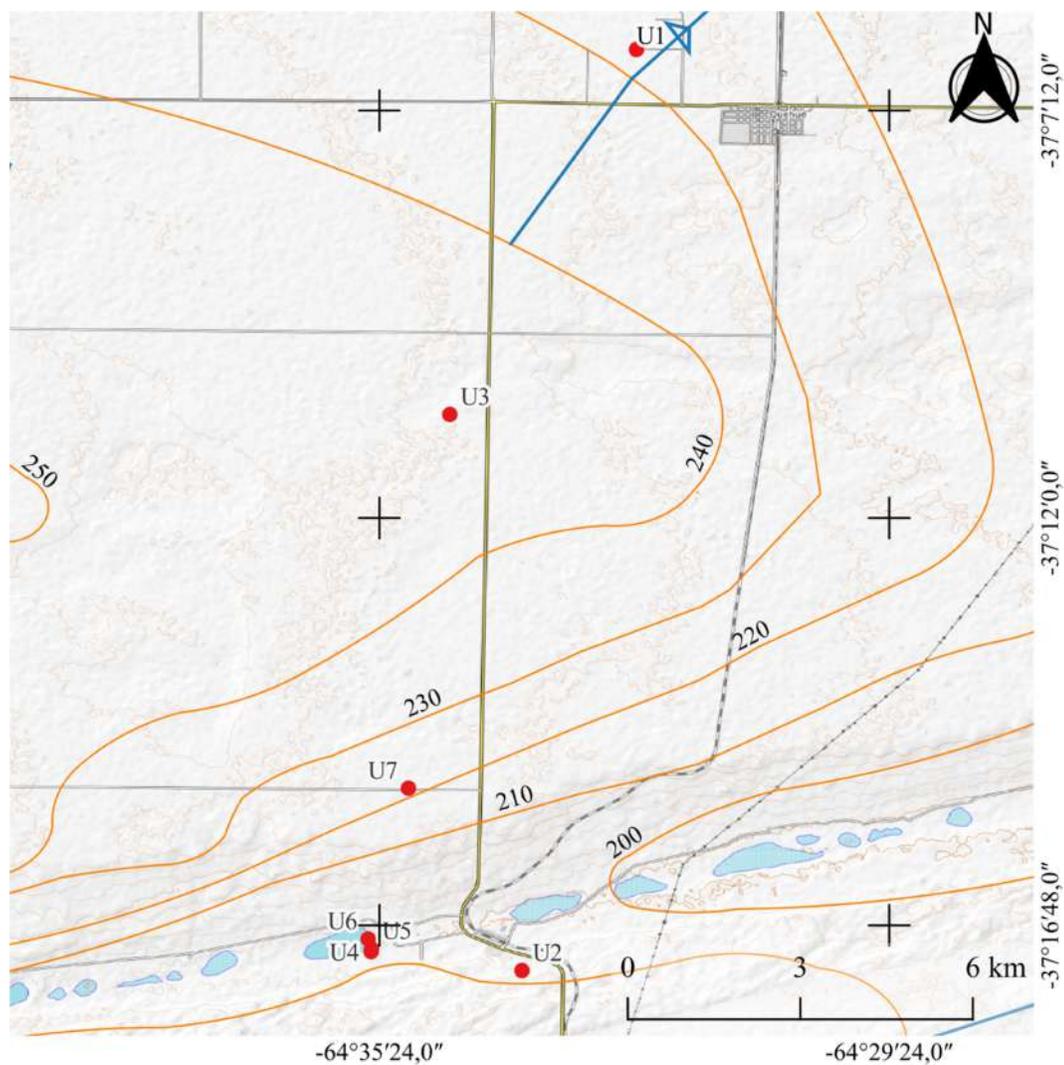


Figura 4.19: Zona Utracán, puntos de muestreo U1, U2, U3, U4, U5, y U7 (agua subterránea). U6 (agua superficial). Curvas equipotenciales en m s.n.m. (marrón) y línea de flujo (azul) para la zona Utracán. UNLPam (2017). Esc. 1:90.000.

En la Tabla 4.13 se describen los sitios de muestreo de la laguna Utracán.

Tabla 4.13: Descripción y ubicación de los sitios de muestreo en la zona Utracán.

Puntos Muestreo	Descripción	Coordenadas	
U1	Molino ubicado en la zona de Meseta. Se encuentra a 3 km al NO de Quehué. Y a 19,9 km del borde mas próximo de la Laguna.	37° 06' 28,7"	64° 32' 22,4"
U2	Molino ubicado a 800 metros en dirección SE de la escuela de Utracán. Sector del cordón Medanoso.	37° 17' 19,8"	64° 33' 43,3"
U3	Zona de Meseta intermedia entre U1 y la Laguna, a 16,5 km en dirección NE del borde mas próximo del cuerpo de agua.	37° 10' 46,7"	64° 34' 34,2"
U4	Perforación para agua del Camping. Ubicada a 284 m al S del borde mas próximo de la laguna, en la zona de arboleda.	37° 17' 06,6"	64° 35' 29,8"
U5	Surgente ubicado en el sector SE de la laguna.	37° 17' 04,3"	64° 35' 29,6"
U6	Sitio de extracción en la parte E de la Laguna.	37° 16' 57,5"	64° 35' 31,9"
U7	Molino ubicado a 3,4 km en dirección NE de la laguna. Zona con pendiente entre el cuerpo de agua y la Meseta.	37° 15' 11,0"	64° 35' 03,4"

En la Tabla 4.14 se muestran, para la laguna de Utracán, los análisis realizados y días de toma de muestras.

Tabla 4.14: Muestréos efectuados en la zona Utracán. Se detallan los sitios, fechas y análisis realizados.

Punto	Estación	Fecha	Determinaciones			
			F-Q	Isótopos	Bacteriológico	En campo
U1	Otoño	04/04/2018	X	x		x
	Invierno	16/08/2018	X		x	x
	Primavera	30/11/2018	X			x
	Verano	21/03/2019	X		x	x
U2	Otoño	04/04/2018	X	x		x
	Invierno	16/08/2018	X		x	x
	Primavera	21/12/2018	X		x	x
	Verano	21/03/2019	X		x	x
U3	Otoño	04/04/2018	X	x		x
	Invierno	16/08/2018	X		x	x
	Primavera	30/11/2018	X			x
	Verano	21/03/2019	X		x	x
U4	Verano	26/02/2018	X			x
	Invierno	16/08/2018	X		x	x
	Primavera	21/12/2018	X		x	x
	Verano	21/03/2019	X	x	x	x
U5	Otoño	14/05/2019	X			
	Verano	26/02/2018	X		x	
	Invierno	16/08/2018	X	x	x	x
	Verano	21/03/2019	X		x	x
U6	Otoño	14/05/2019	X		x	
	Verano	26/02/2018	X	x	x	x
	Invierno	16/08/2018	X		x	x
	Primavera	21/12/2018	X		x	x
	Verano	21/03/2019	X		x	
U7	Otoño	14/05/2019	X		x	
	Otoño					
	Invierno	01/09/2018	X	x		
	Primavera	30/11/2018	X			x
	Verano					

4.6. BATIMETRÍAS

La medición de las profundidades respecto al pelo de agua de las lagunas analizadas se realizó con una embarcación a motor (Figura 4.20). En cada punto se detenía la marcha y se obtenía la posición mediante el receptor de GPS y la medida de la profundidad con una escala graduada.



Figura 4.20: Embarcación de la Secretaría de Recursos Hídricos de La Pampa (SRHLP) utilizada para realizar las batimetrías de las lagunas.

La ubicación de los puntos de medición se instrumentó siguiendo una grilla regular que para el Meaucó fue de aproximadamente 50 x 50 m. En el relevamiento de la laguna en zona Meaucó hubo zonas de difícil acceso para la embarcación debido a la imposibilidad que funcionara el motor por la presencia de algas en sectores de poca profundidad, como las zonas E y S (Figura 4.21).

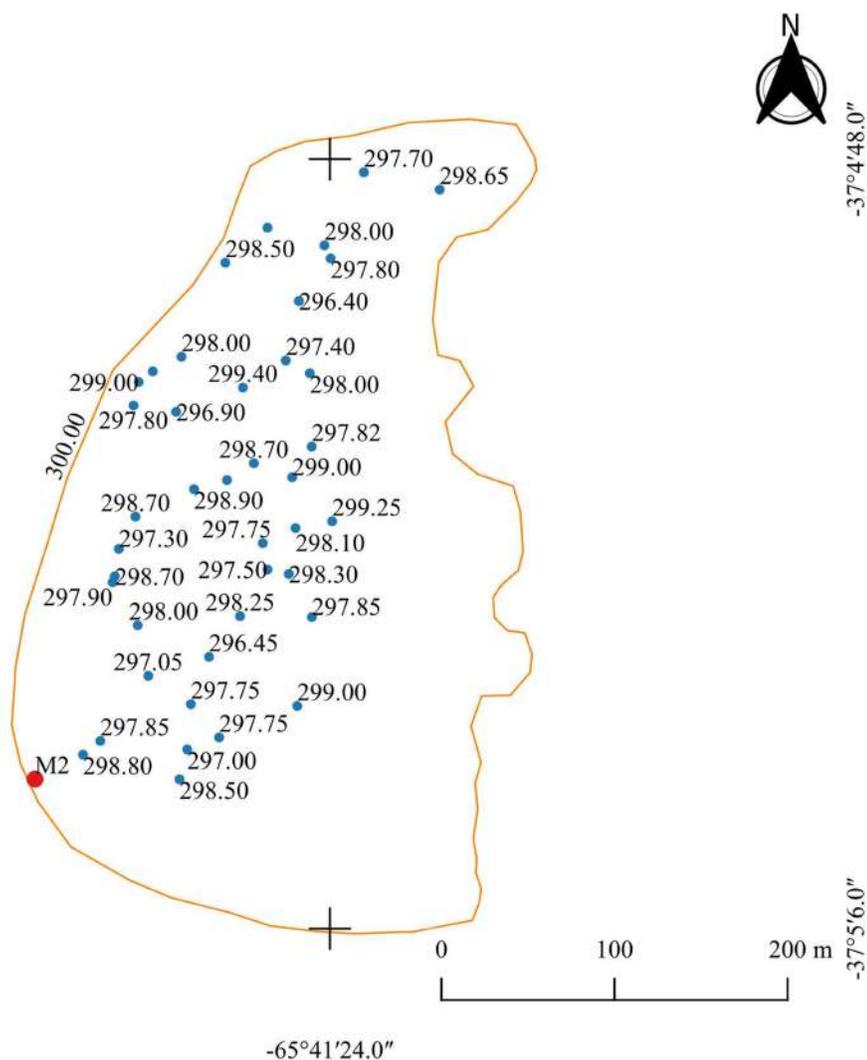


Figura 4.21: Batimetría de la laguna en la zona Meaucó. Puntos azules indican información batimétrica en m s.n.m., relevados el 01/03/19. Curva de nivel de 300 m s.n.m. (marrón) interpolada del MDE. Esc.: 1:3.000.

Las Figuras 4.21 a 4.23 ilustran las batimetrías realizadas a las lagunas Meaucó, la Salada y Utracán. Para cada laguna se establece el límite superior normal a partir de las curvas de nivel que se corresponden con el pelo de agua, y se obtuvieron con la interpolación lineal del MDE, de cada zona analizada.

La grilla de medición en el caso de La Salada fue de aproximadamente 200 x 200 m, debido a la extensión de la superficie a cubrir.

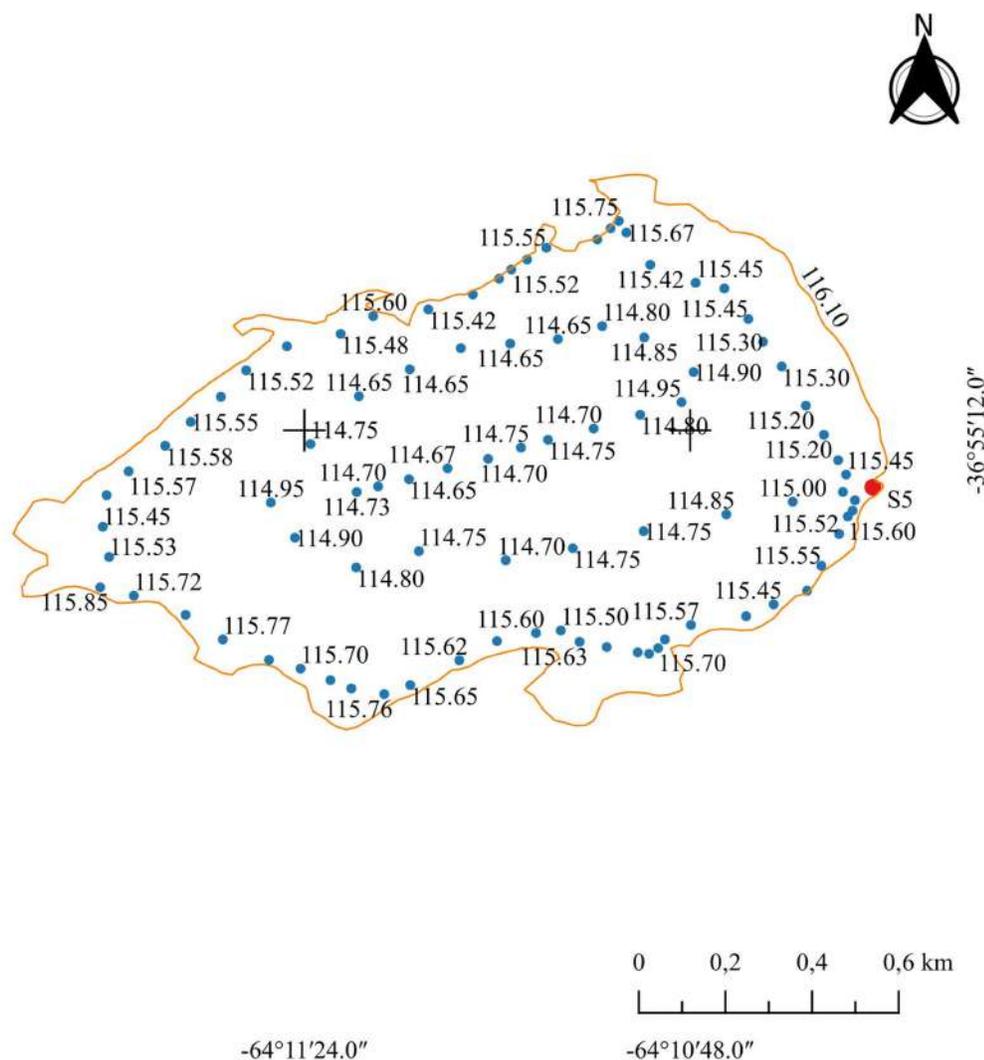


Figura 4.22: Batimetría de La Salada en zona Parque Luro. Puntos azules indican información batimétrica en m s.n.m., relevados el 19/07/19. Curva de nivel de 116,1 m s.n.m. (marrón) interpolada del MDE. Esc.: 1:12.000.

Por último, la grilla de medición para Utracán fue de aproximadamente 100 x 100 m, equilibrando la posibilidad de relevamiento con la superficie necesaria a cubrir.

Comparando las cotas absolutas de los respectivos pelos de agua de las tres lagunas analizadas, la de mayor cota es la laguna en zona de Meaucó (300 m s.n.m.), la de menor cota es La Salada (116,1 m s.n.m.) y la laguna de Utracán se ubica entre las dos anteriores (200,8 m s.n.m., Figura 4.23).

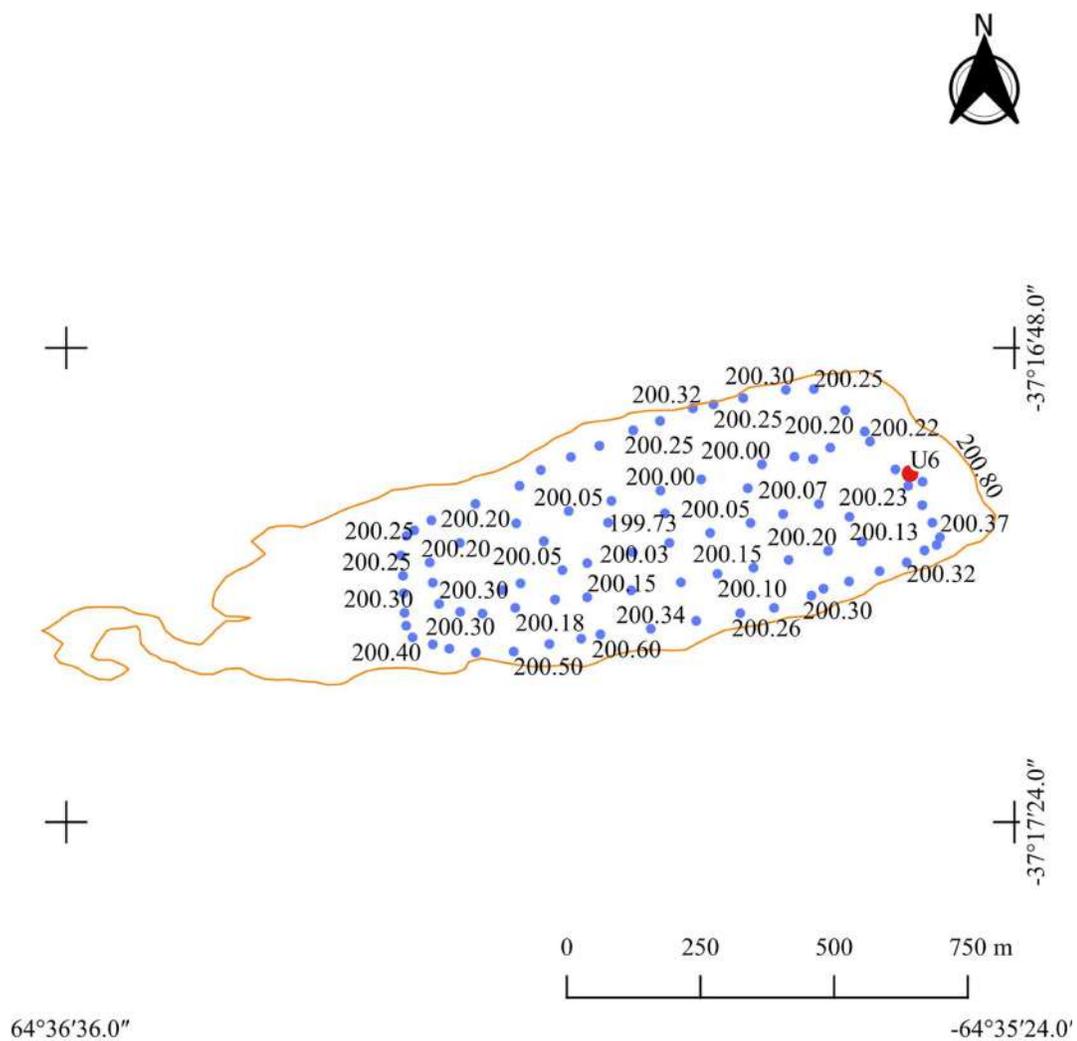


Figura 4.23: Batimetría de Atracan en zona homónima. Puntos azules indican información batimétrica en m s.n.m., relevados el 14/05/19. Curva de nivel de 200,8 m s.n.m. (marrón) interpolada del MDE. Esc.: 1:10.000.

5.1. RELIEVE Y ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Para la obtención de los MDE de las tres zonas de análisis se siguió un proceso de corrección y ajuste, en el cual además se agregó e íntegro las batimetrías de cada laguna. Se extrajo mediante el software QGIS las curvas de nivel con una equidistancia de 1 m del MDE del IGN, y se superpuso a los puntos fijos y a las curvas digitalizadas de las cartas topográficas. Se agregó para cada laguna los puntos relevados mediante la batimetría, los cuales se vincularon con cota absoluta de acuerdo a la curva de nivel. También se agregaron las cotas de boca de pozo de los freáticos que existen en la zona de la APA y los puntos, en la zona, con cota del receptor de GPS validados por las curvas de nivel correspondiente.

Finalmente se interpolaron los datos relevados para la construcción del MDE local. Se utilizaron luego diversas herramientas del QGIS y Saga GIS, como es calibrar el MDE final tomando valores de otro conocido (MDE del IGN), y en los caso donde no ajustaba se interpoló entre pixeles vecinos.

5.1.1. Zona Meaucó

En la Figura 5.1 se aprecian las curvas de nivel extraídas de MDE del IGN con una equidistancia de 1 m. Se indican los puntos con altura de la carta topográfica de Chacharramendi, de la batimetría que fueron obtenidos por receptor de GPS e información relevada de los antecedentes evaluados.

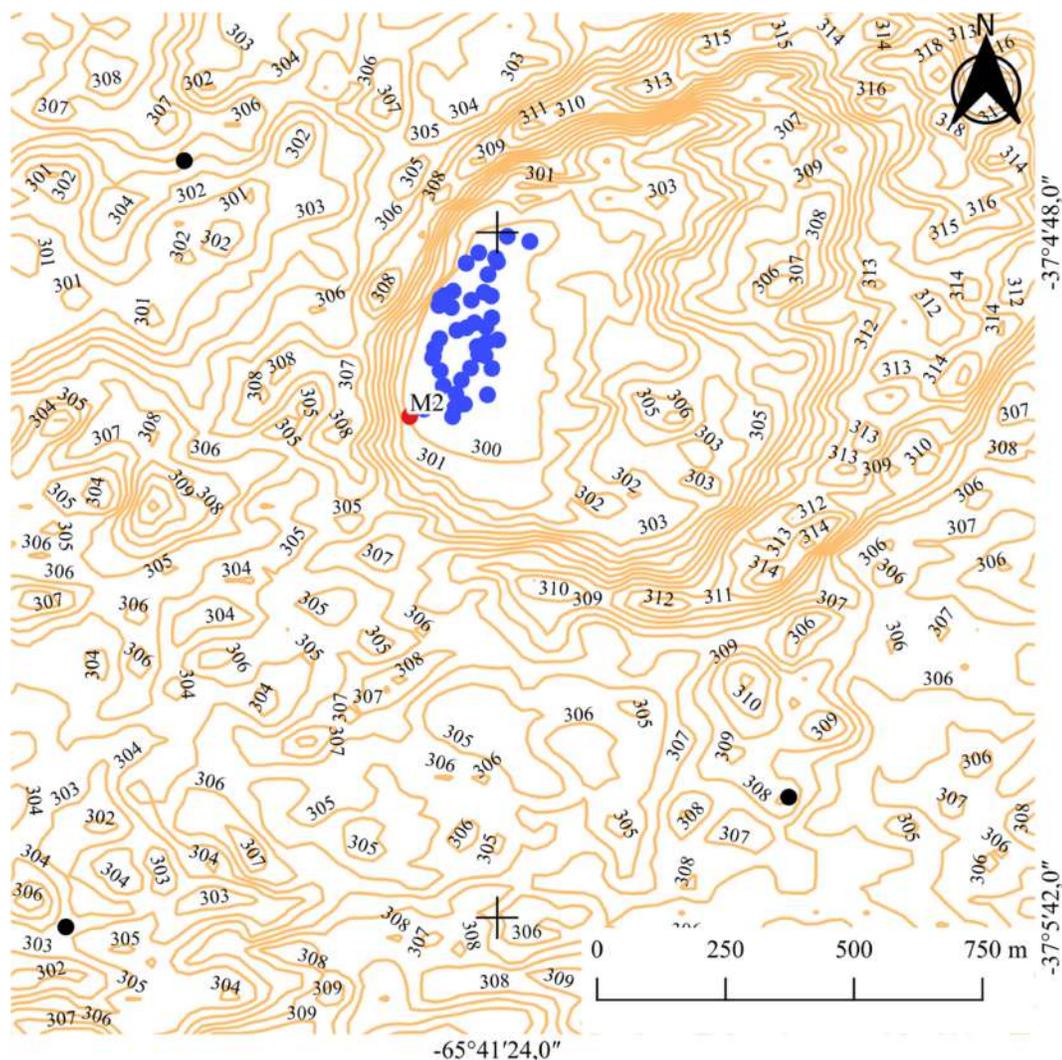


Figura 5.1: Zona Meaucó. Curvas de nivel con equidistancia de 1 m. Punto de medición en la laguna M2. Puntos azules relevados en la batimetría. Puntos negros de carta topográfica de Chacharramendi e información relevada de antecedentes. Esc. 1:10.000.

La Figura 5.2 ilustra el MDE local obtenido en la zona Meaucó que al igual a lo observado en el mapa de curvas de nivel, destaca la irregularidad del manto eólico que cubre el área.

El área circundante de la laguna está caracterizada por la naturaleza arenosa de los sedimentos, que favorece la infiltración de las precipitaciones y en consecuencia reduce totalmente el aporte hacia la laguna por escorrentía superficial, (ver Figura 3.5). Se fijó, en formato vectorial, la superficie del cuerpo de agua para cota de 300 m s.n.m. (Figura 5.3).

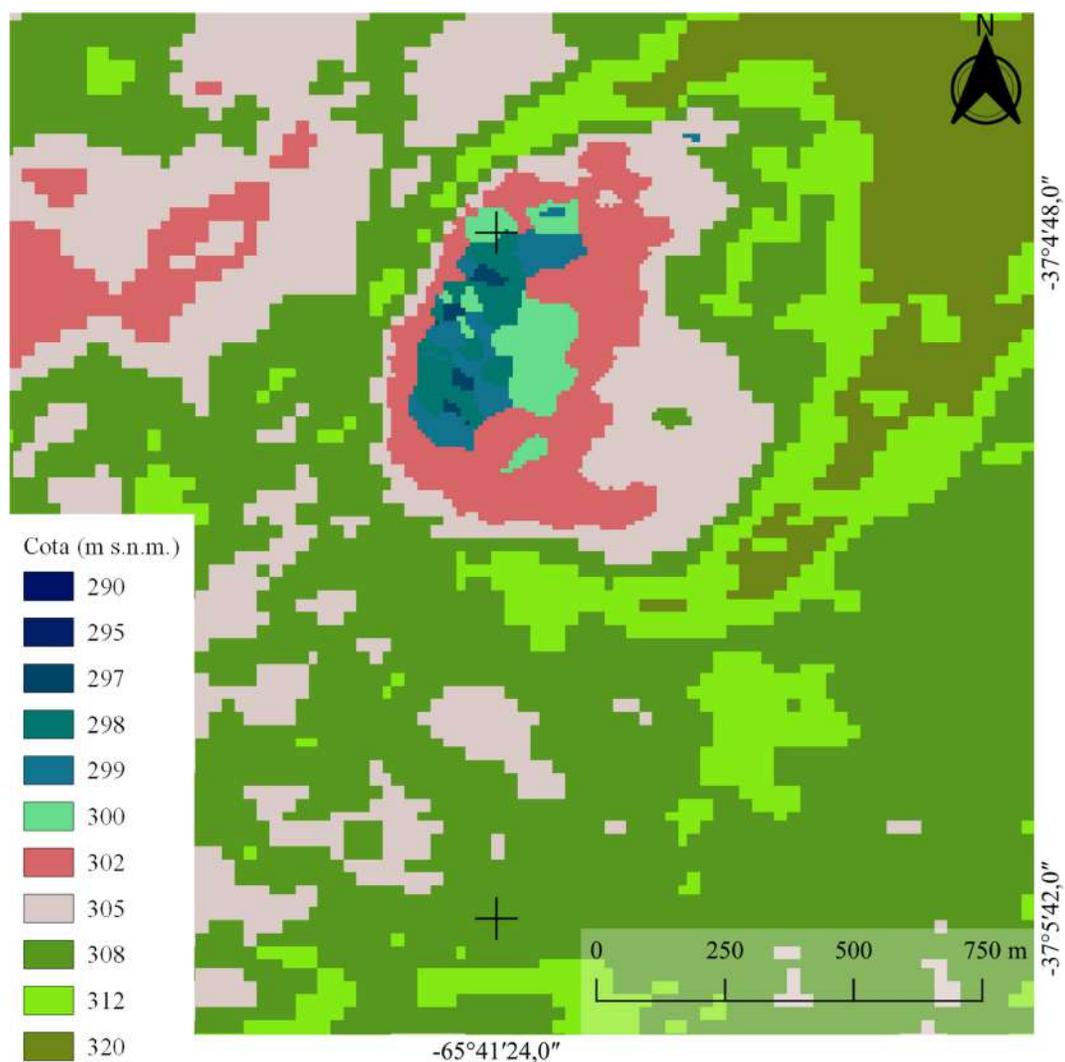


Figura 5.2: Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona Meaucó. En morado y azul depresión topográfica que contiene a la laguna en zona Meaucó. Esc. 1:10.000.

En la Figura 5.3, se ilustra el MDE iluminado del SO para resaltar el relieve donde se observan la superposición de las crestas y las depresiones de los médanos que enmarcan a la laguna del Meaucó.

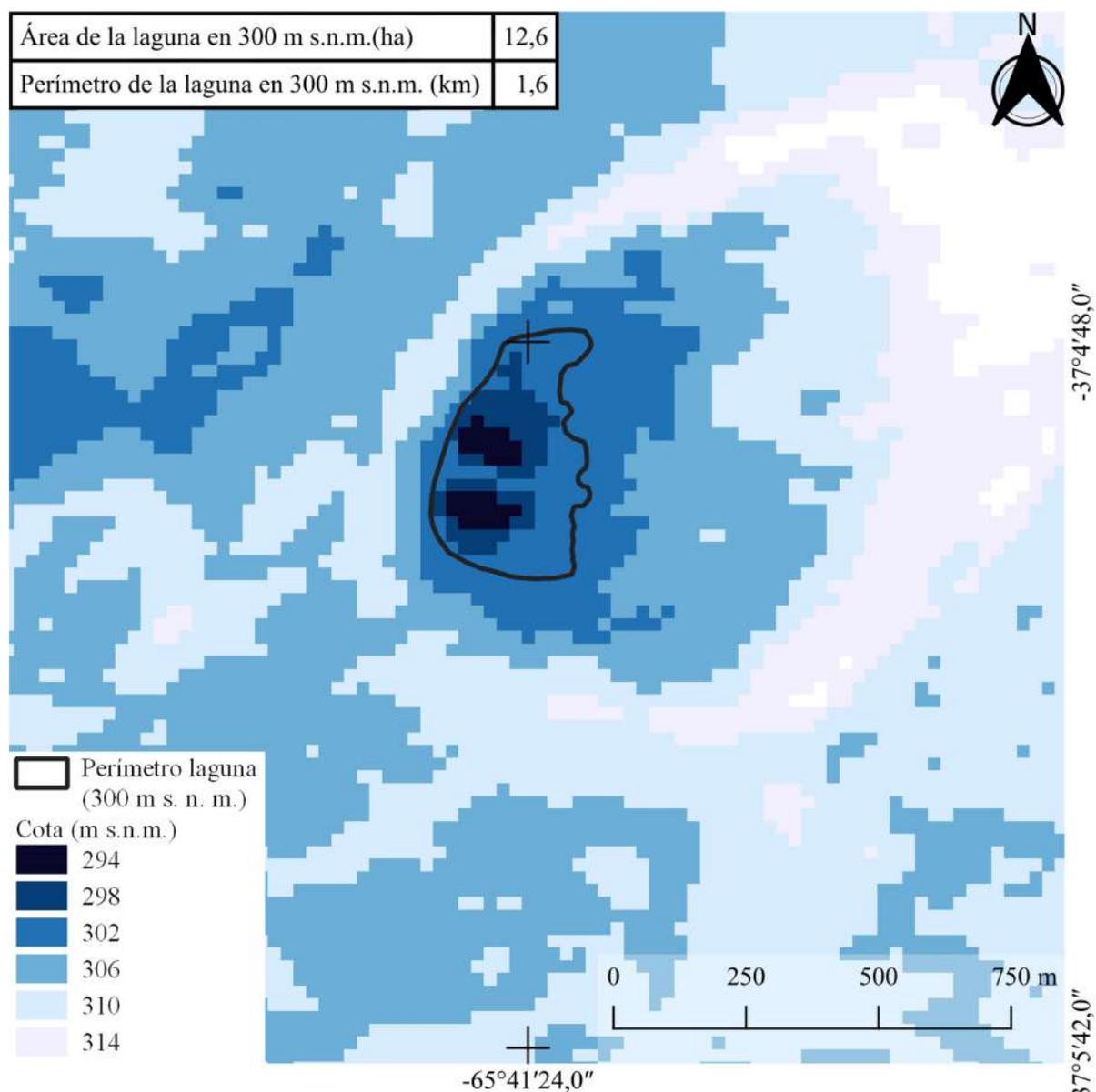


Figura 5.3: Relieve sombreado del MDE de la zona Meaucó. La laguna se indica con la curva de nivel de 300 m s.n.m. Esc. 1:10.000.

La representación tridimensional del MDE (Figura 5.4) ilustra el relieve medanoso y la falta de sistemas de drenaje definidos. La Figura 5.4 y la Tabla 5.1 indican las cotas asociadas a los distintos puntos y perfiles analizados. Los puntos de medición M1 y M2 se encuentran separados por 1.306 m en línea recta, y con una diferencia de niveles de 5,8 m del pelo de agua de la laguna al promedio de mediciones del NF en M1. La profundidad máxima de la laguna, registrada en la batimetría 01/03/19, fue de 3,6 m (296,4 m s.n.m.) y el promedio de las mediciones fue 1,9 m.

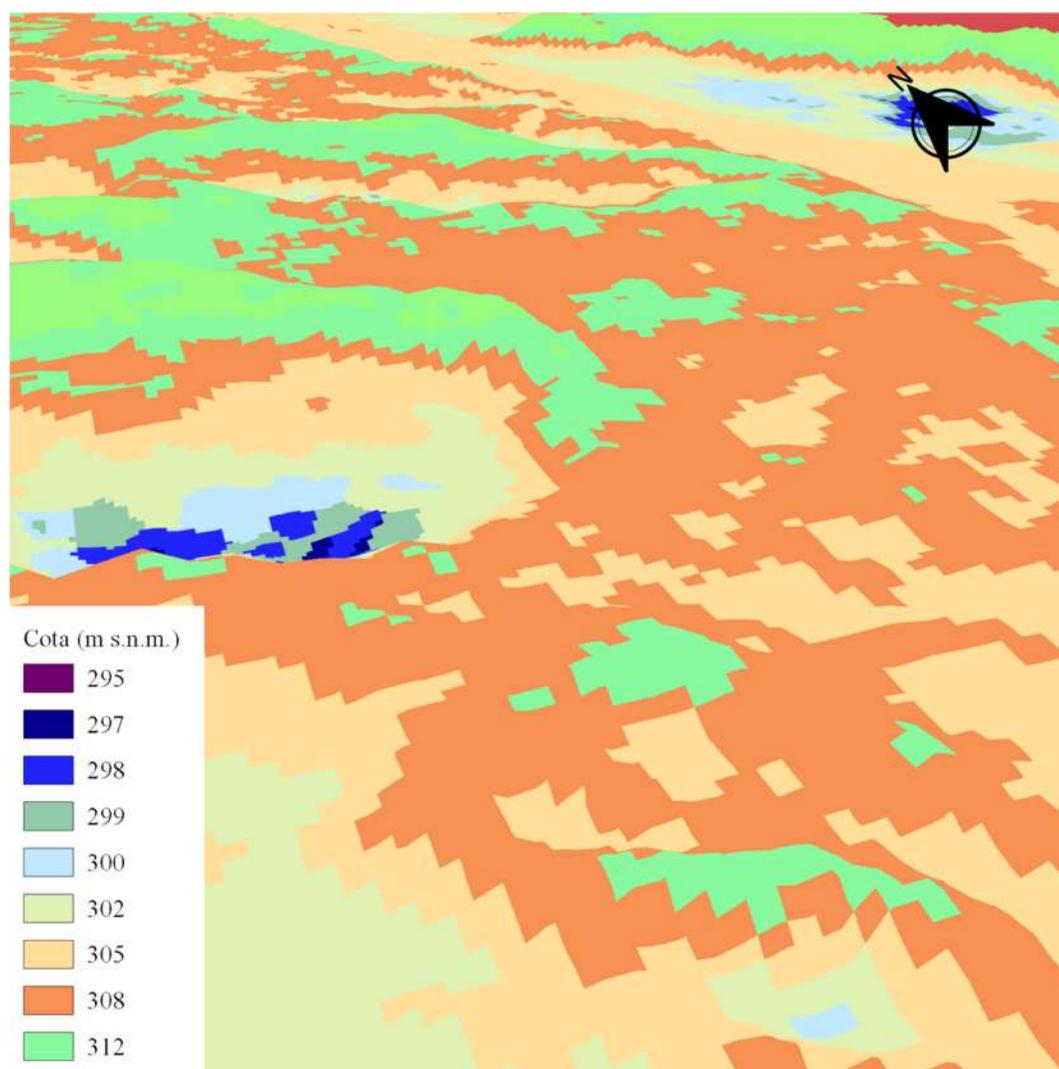


Figura 5.4: Imagen ilustrativa en tres dimensiones del MDE de la laguna en la zona Meaucó. En azul se resalta la depresión topográfica que contiene a la laguna. Eje vertical aumentado 10 veces. Vista de SO a NE. Esc. 1:10.000.

Tabla 5.1: Valores de cotas absolutas en la zona Meaucó.

Punto		Cota (m s.n.m.)
Cota del pelo de agua de la laguna en el Meaucó		300,0
Punto de menor cota medido en la laguna		296,4
Cota sobre la superficie del terreno	M1	303,1
	M2	299,4
Promedio del NF en M1		294.2

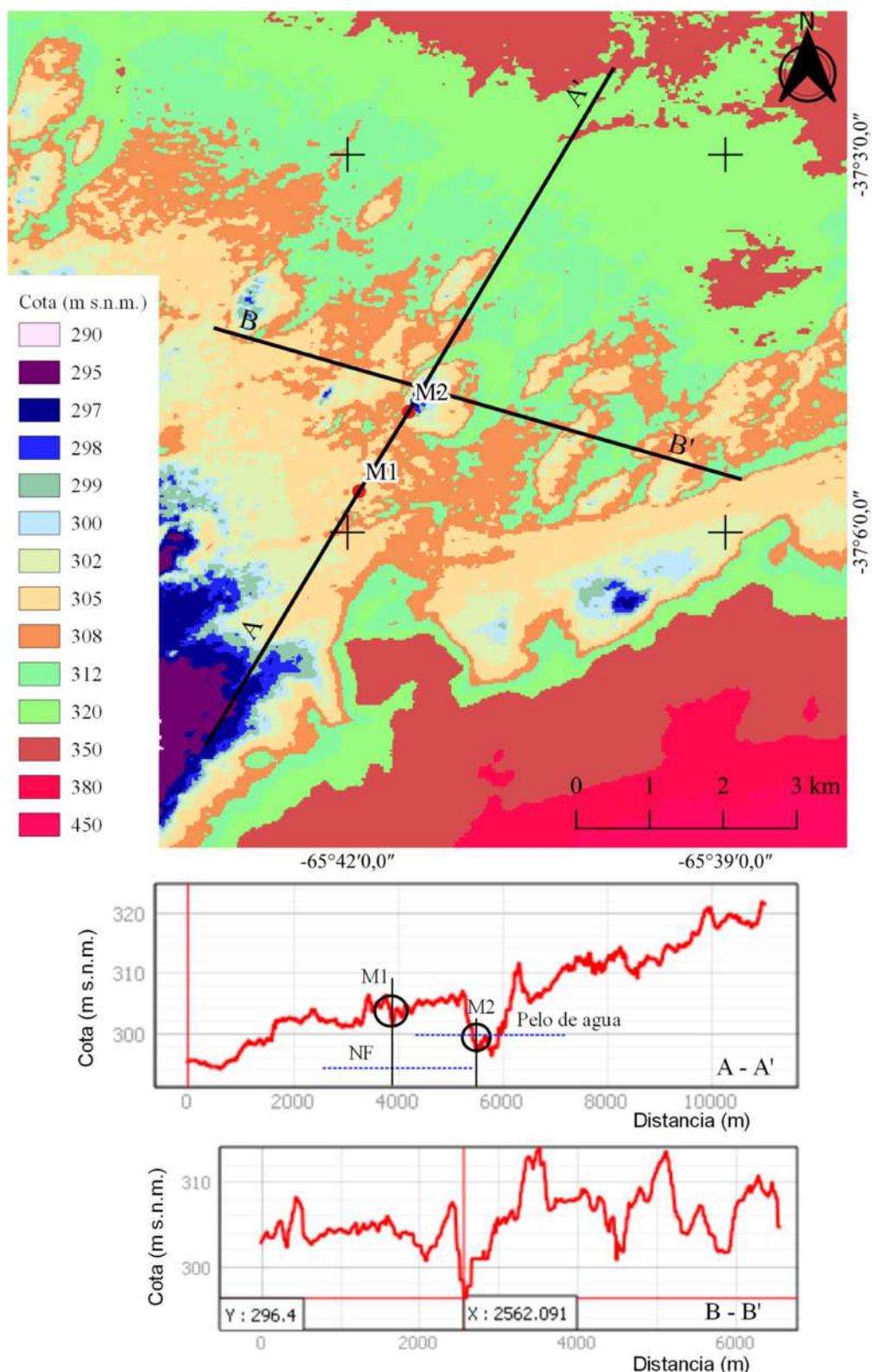


Figura 5.5: Planialtimetría de la zona Meaucó. Detalle de ubicación y perfiles de los cortes A-A' y B-B'. Se indican en los puntos de medición, la cota del pelo de agua y del nivel freático. Menor cota medida por batimetría (Y) de la laguna 296,4 m s.n.m. El 0 de X se ubica en el comienzo del corte que corresponde (A o B). Eje vertical aumentado 10 veces. Esc. 1:50.000.

5.1.2. Zona Parque Luro

En la Figura 5.6 se observan las curvas de nivel extraídas del MDE del IGN con una equidistancia de 5 m. Se indican los puntos con altura de la carta topográfica de la estancia La Segunda y Naicó, y la batimetría de la laguna que fueron obtenidos por receptor de GPS e información relevada de los antecedentes evaluados.

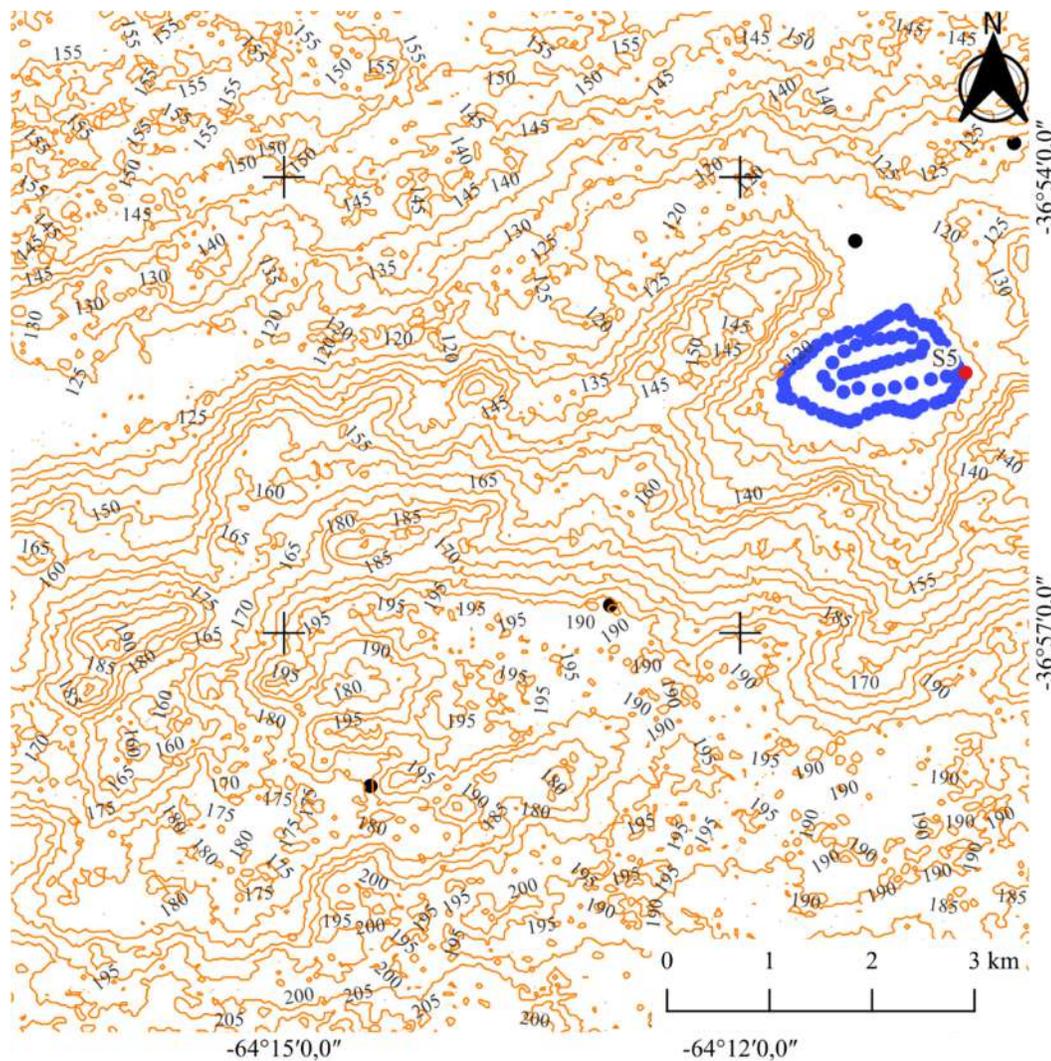


Figura 5.6: Zona Parque Luro. Curvas de nivel con equidistancia de 5 m. Punto de medición en la laguna S5. Puntos azules relevados en la batimetría. Puntos negros de carta topográfica de la estancia La Segunda y Naicó, e información relevada de antecedentes. Esc. 1:50.000.

La Figura 5.7 ilustra el MDE local obtenido en la zona Parque Luro. Se observa un marcado contraste topográfico entre la depresión que contiene a la laguna dentro del valle y el área de planicie estructural que la circunda. Dichas características y la existencia de un sistema de drenaje superficial de aporte en el sentido del Valle de Quehué, es observado en la representación tridimensional del MDE que también resalta el carácter terminal de la laguna dentro del sistema hídrico descrito (Figura 5.8).

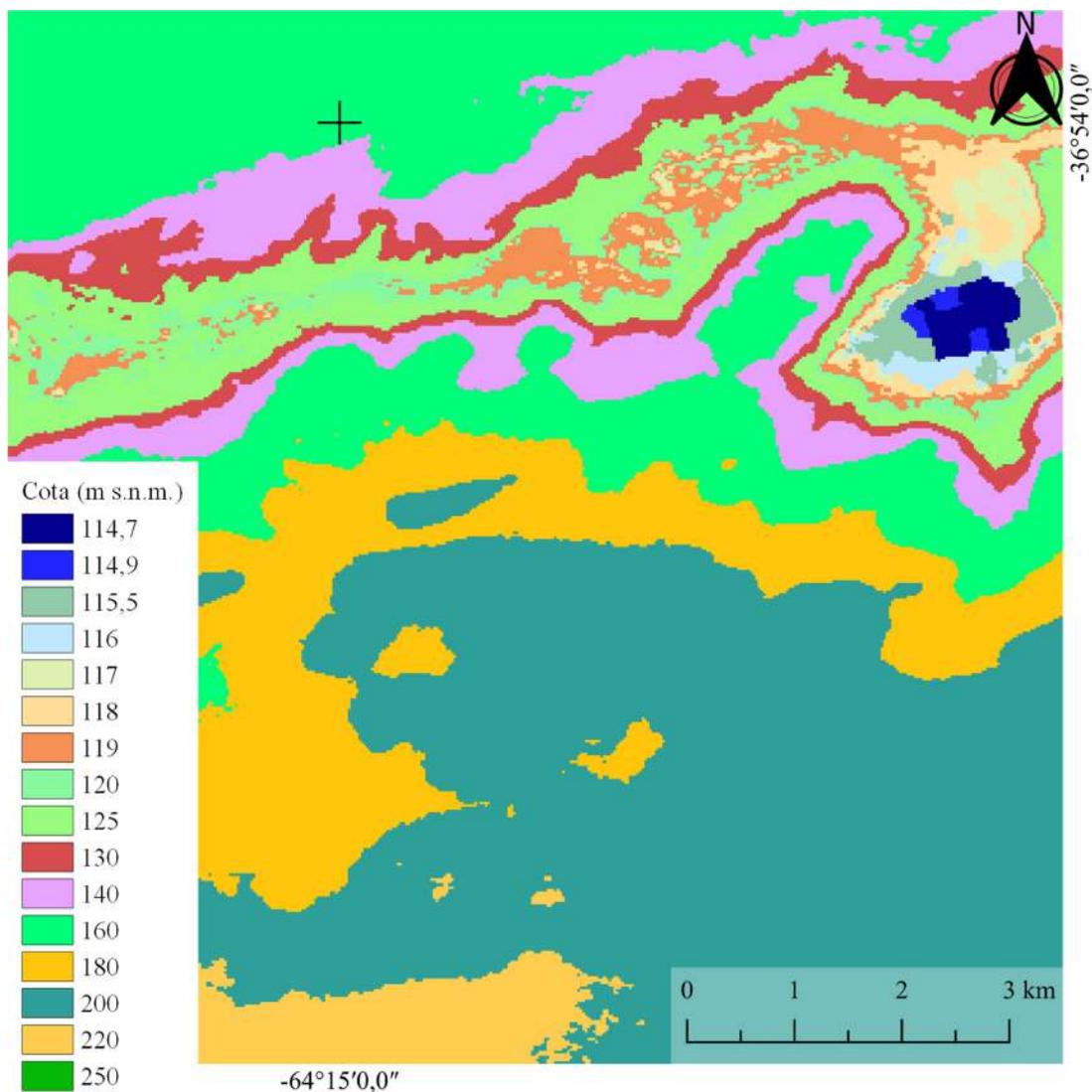


Figura 5.7 Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona Parque Luro, laguna La Salada. En azul se resalta la depresión topográfica que contiene a la laguna La Salada. Esc. 1:50.000.

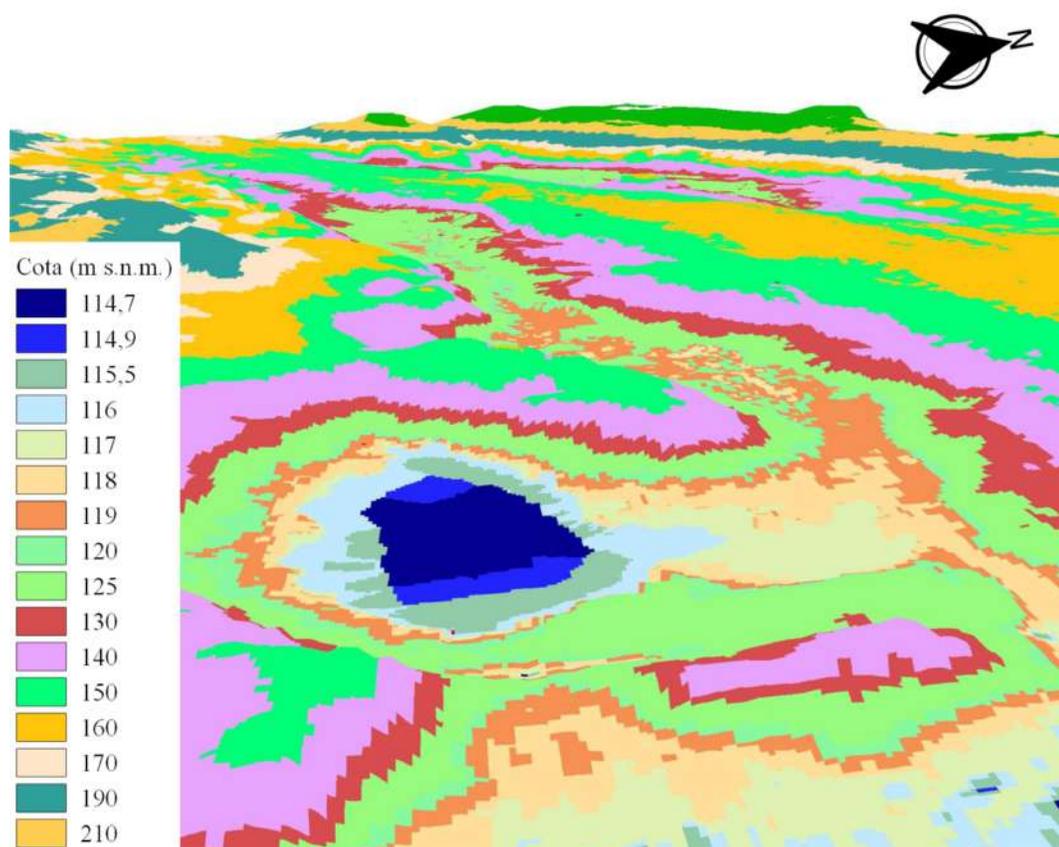


Figura 5.8: Imagen ilustrativa en tres dimensiones del MDE de la zona Parque Luro. Se indica en azul la laguna La Salada. Eje vertical aumentado 10 veces. Vista de E a O. Esc. 1:25.000.

Se delimitó para la zona Parque Luro la cuenca de aporte potencial por escurrimiento superficial a la laguna La Salada, con la utilización del MDE local y las curvas de nivel (Figura 5.9). La divisoria de agua se estableció de acuerdo a la morfología superficial y accidentes topográficos visibles en el MDE. La cuenca de aporte constituye el área drenada por el Arroyo Quehué que culmina en la laguna La Salada y se desarrolla en el Valle de Quehué (ver Figura 3.2). Se fijó, en formato vectorial, la superficie del cuerpo de agua para cota de 116,1 m s.n.m.

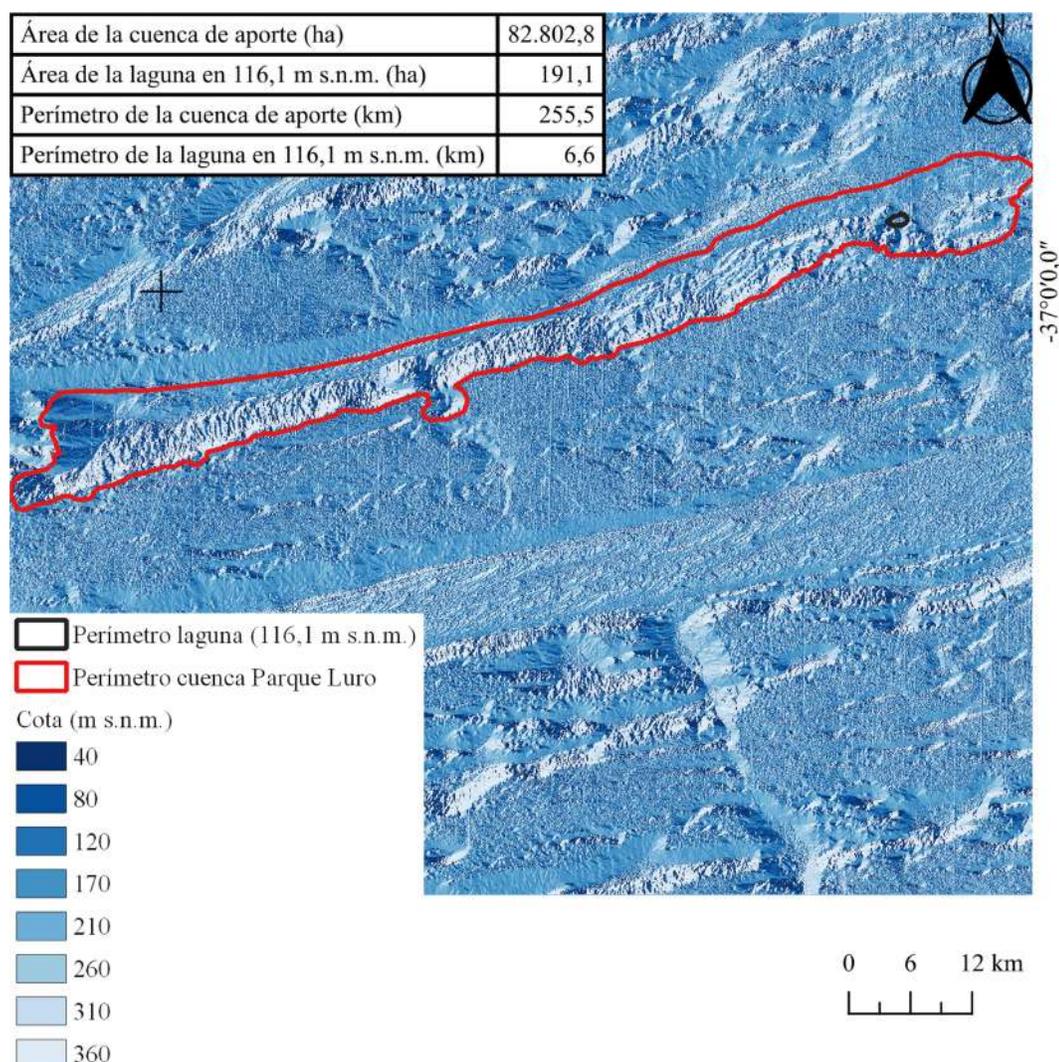


Figura 5.9: Zona Parque Luro. Línea roja: Cuenca de aporte potencial al Arroyo Quehué que desemboca en la Laguna La Salada. Línea negra: cota pelo de agua para 116,1 m s.n.m. Esc. 1:500.000.

El arroyo Quehué posee una activación solo en respuesta a eventos de precipitación localmente intensos, y una expresión espacial muy segmentada por usos, presencia de embalses menores en su trayectoria, y por las características de los sedimentos arenosos en algunos sectores del valle. El área de aporte potencial es de 828 km²; superficie que limita que la cuenca alcance su tiempo de concentración durante la duración de las tormentas.

La Tabla 5.2 muestra las cotas asociadas a los distintos puntos y perfiles analizados. Los pozos de medición S1 en el ingreso a Parque Luro, y S2, se encuentran a 9,7 y 5,8 km de distancia del punto de toma de muestras en la laguna S5. El desnivel del promedio de lectura del NF en S2 y S4 respecto al pelo de agua de la laguna es de 2,2 y 54,2 m, y la distancia entre S4 y S5 es de 12,2 km. Cabe aclarar que en medición de la batimetría (19/07/19) se obtuvo una profundidad máxima de 1,5 m y el promedio de las mediciones fue 0,8 m.

Tabla 5.2: Valores de cotas absolutas de puntos relevantes en la zona de La Salada.

Punto	Cota (m s.n.m.)
Cota del pelo de agua de la laguna La Salada	116,1
Punto de menor cota medido en la laguna	114,6
	S1
	145,8
	S2
	141,0
Cota sobre la superficie del terreno	S3
	118,5
	S4
	207,5
	S5
	115,5
Promedio del NF	S2
	118,3
	S4
	170,3

En la Figura 5.10 se observa la ubicación y el perfil de dos cortes de la laguna La Salada (A-A' y B-B'). Se aprecia que el cuerpo de agua forma parte de un sistema hídrico base de escurrimiento superficial, con un ingreso por el N aunque conectado al sistema de aporte desarrollado al O de la misma (corte A-A'). En el corte B-B' se observa como el valle disecta a la planicie estructural, estableciendo un claro contraste en el relieve, y se indica la ubicación de la laguna en el sector más deprimido del valle.

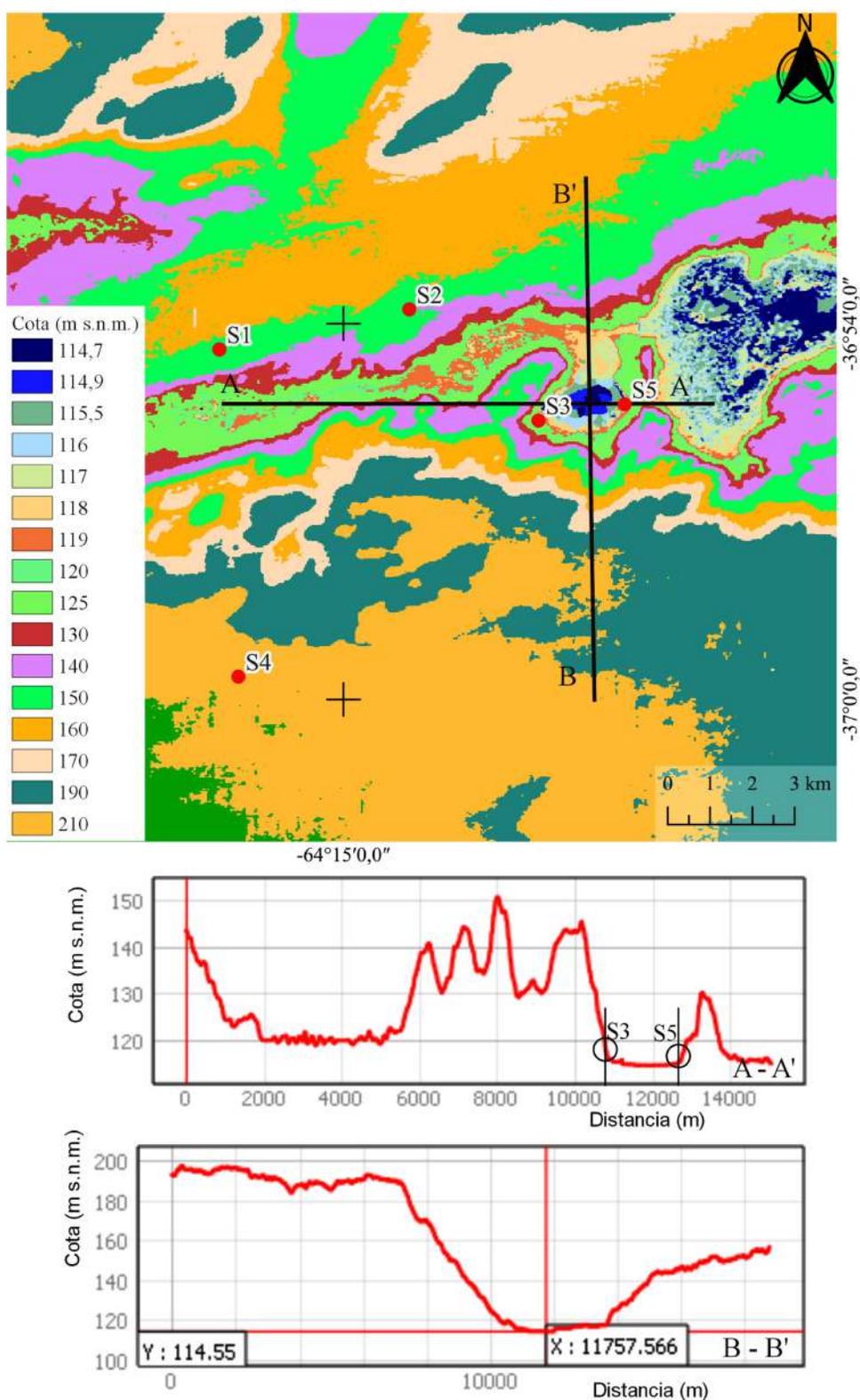


Figura 5.10: Planialtimetría de la zona Parque Luro. Detalle de ubicación y perfiles de los cortes A-A' y B-B'. Se indican los puntos de observación S3 (manantial) y S5 (laguna). Menor cota medida por batimetría (Y) de la laguna 114,55 m s.n.m. Eje vertical aumentado 10 veces. El 0 de X se ubica en el comienzo del corte que corresponde (A o B). Eje vertical aumentado 10 veces. Esc. 1:50.000.

5.1.3. Zona Utracán

En la Figura 5.11 se aprecia las curvas de nivel extraídas de MDE del IGN con una equidistancia de 3 m. Se agrega los puntos con altura de la carta topográfica de Utracán, de la batimetría que fueron obtenidos por receptor de GPS e información relevada de los antecedentes evaluados.

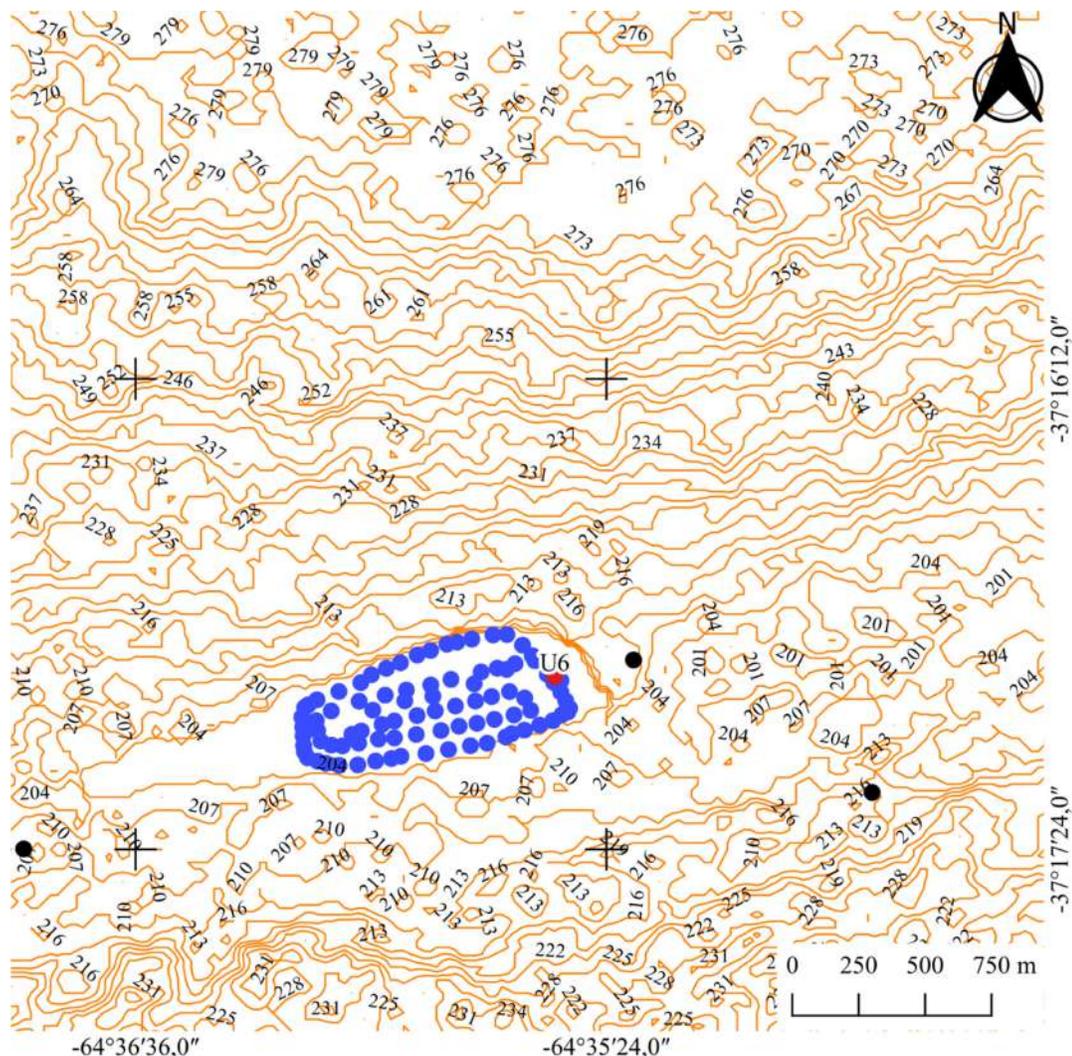


Figura 5.11: Zona Utracán. Curvas de nivel con equidistancia de 3 m. Punto de medición en la laguna U6. Puntos azules relevados en la batimetría. Puntos negros de carta topográfica de Utracán, e información relevada de antecedentes. Esc. 1:20.000.

La Figura 5.12 ilustra el MDE local de la zona Utracán. Se observa un marcado contraste topográfico entre la depresión que contiene a la laguna en el sector lateral del Valle Argentino, el cordón medanoso en el centro del valle y el área de planicie estructural que la circunda. La representación tridimensional del MDE ilustra esa característica, donde se aprecia la alineación de la laguna en el sentido del valle y su ubicación entre el cordón medanoso y el talud del valle (Figura 5.13).

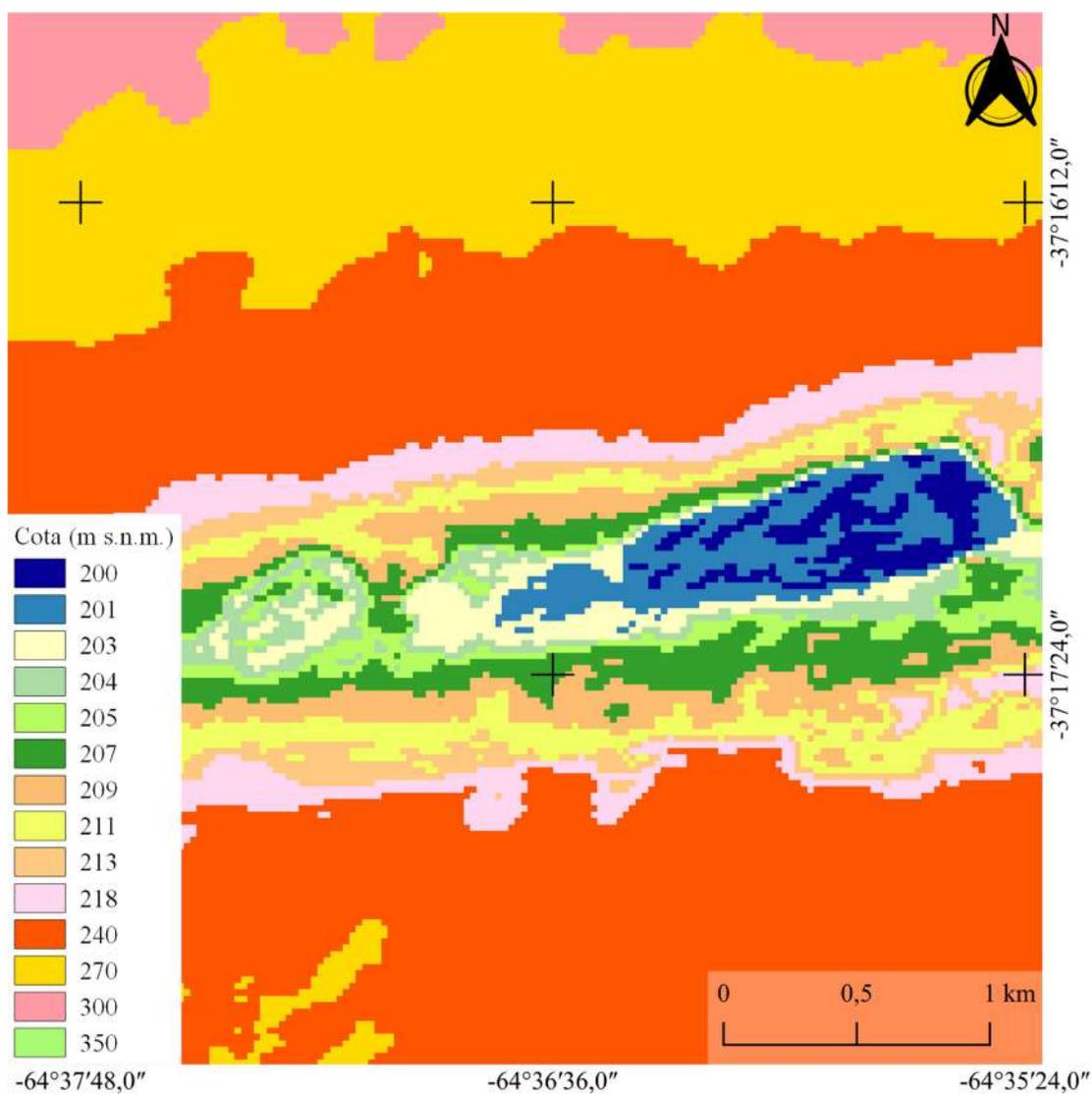


Figura 5.12: Modelo Digital de Elevación (MDE) de la zona Utracán, laguna Utracán. En celeste se indica la depresión topográfica que contiene a la laguna Utracán. Esc. 1:20.000.

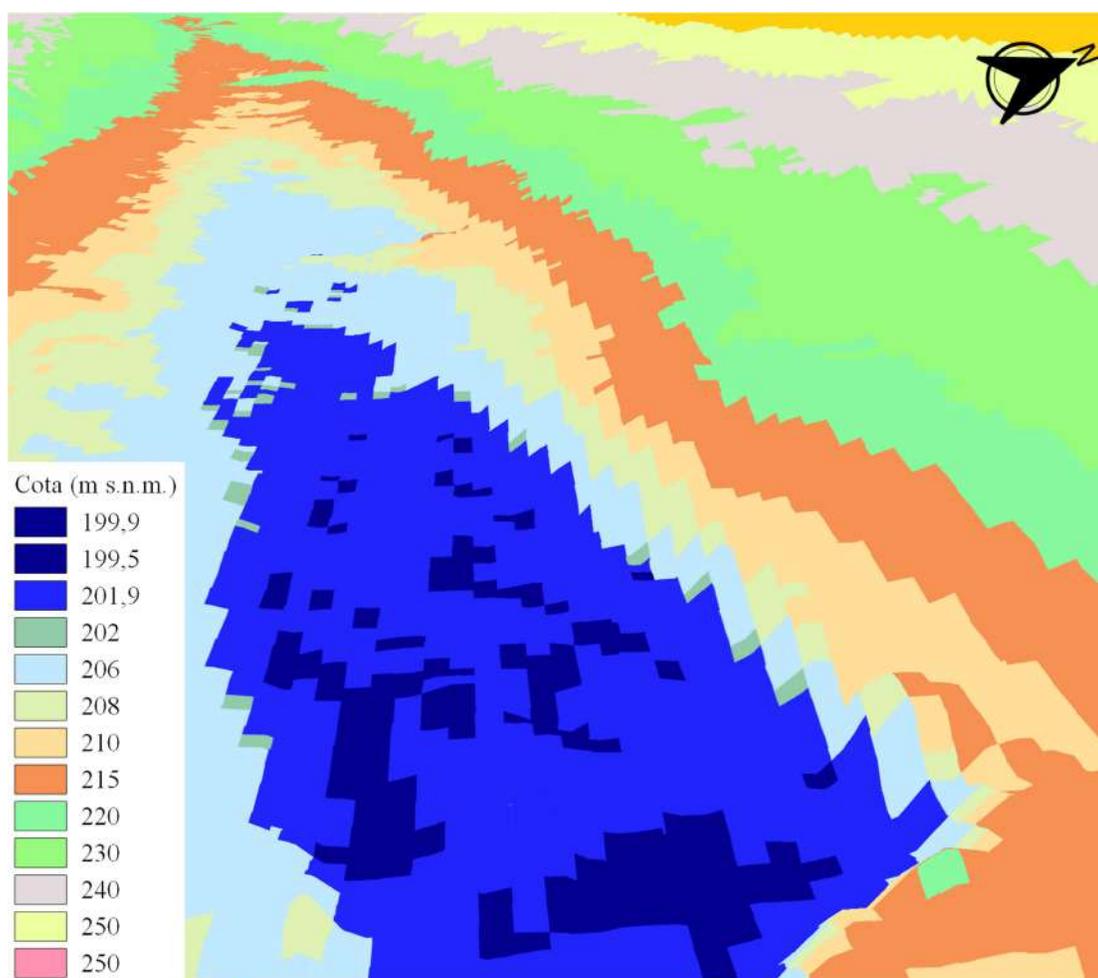


Figura 5.13: Imagen ilustrativa en tres dimensiones del MDE de la laguna de Utracán. Eje vertical aumentado en 10 veces. Vista de E a O. Esc. 1:5.000.

Similarmente a lo realizado en la laguna La Salada, se delimitó en la zona Utracán la cuenca de aporte por escurrimiento superficial potencial a la laguna, con la utilización del MDE local y las curvas de nivel. La divisoria de agua se estableció de acuerdo a la morfología superficial y accidentes topográficos visibles en el MDE y curvas de nivel. La cuenca de aporte a la laguna Utracán en condiciones típicas posee una extensión reducida (Figura 5.14), aunque existe una cuenca potencial de aporte cuando el flujo superficial supera la cota de 218,0 m s.n.m., que genera un desnivel superior a los 9,0 m. Este tipo de separación natural hace de separador al potencial escurrimiento que se establece entre la pendiente N de la cadena de médanos y el sector de la meseta. Se fijó, en formato vectorial, la superficie del cuerpo de agua para cota de 200,8 m s.n.m. Se separó (línea marrón) el faldón o talud de la meseta con la unión del pie del cordón medanoso de Utracán.

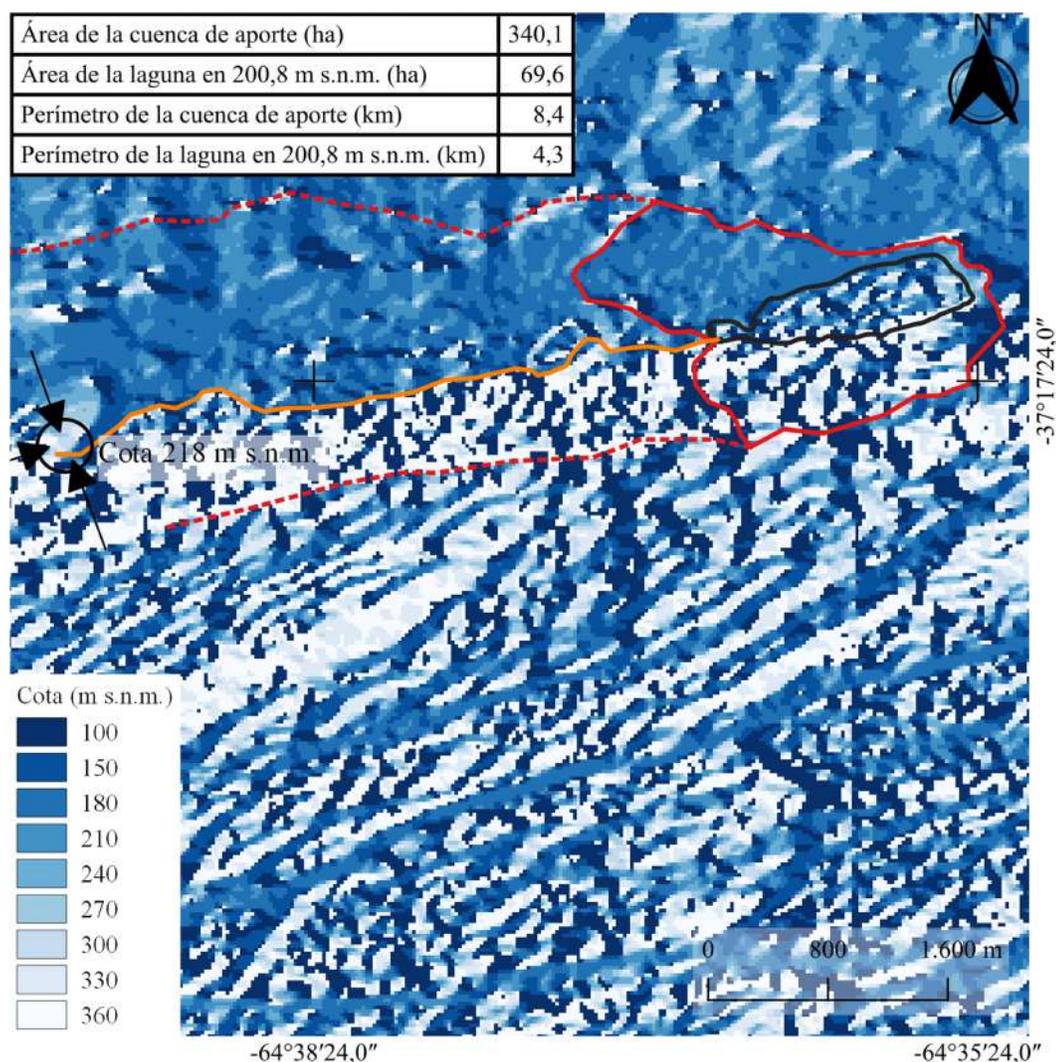


Figura 5.14: Zona Utracán. Línea roja: Cuenca de aporte directo. Línea roja punteada: Cuenca de aporte potencial. Línea marrón separación faldón de meseta y pie de cordón medanoso. Línea negra: Laguna Utracán para cota 200,8 m s.n.m. Círculo marca separación natural con cota 218 m s.n.m. Esc. 1:35.000.

La Tabla 5.3 muestra las cotas asociadas a los distintos puntos analizados. El punto U3 ubicado en la zona de cambio del gradiente hidráulico subterráneo posee una distancia en línea recta hacia la laguna Utracán (U6) de 16,5 km, mientras que U7 se encuentra a 3,4 km y U2 a 2,8 km del punto de muestreo en la laguna. El punto más cercano U4 está a 284,0 m inserto en el final del cordón medanoso a la vera del cuerpo de agua. La diferencia de nivel del pelo de agua de la laguna respecto al promedio del NF de U3 y U4 es de 46,6 y 1,7 m respectivamente.

Tabla 5.3: Valores de cotas absolutas de puntos relevantes en la zona de Utracán.

Punto	Cota (m s.n.m.)
Cota del pelo de agua de la laguna Utracán	200,8
Punto de menor cota medido en la laguna	199,7
	U2
	213,1
	U3
	276,1
	U4
Cota sobre la superficie del terreno	205,3
	U5
	200,9
	U6
	200,2
	U7
	273,5
Promedio del NF	U3
	247,4
	U4
	202,5

La laguna de Utracán tiene una profundidad máxima detectada a la fecha de medición de la batimetría (14/05/19) de 1,1 m y el promedio de las mediciones fue 0,8 m.

En la Figura 5.15 se ilustra la ubicación y el detalle de los perfiles de los cortes topográficos realizados. Se visualiza en el corte A-A' la relación de la laguna con el cordón medanoso a la izquierda y la meseta estructural a la derecha. El corte B-B' en cambio, ilustra el gradiente regional de terreno e interrumpido por el relieve local que delimita o separa, para niveles típicos, al cuerpo de agua de la laguna de Utracán. Se resalta la ubicación de la laguna de Utracán entre el cordón medanoso y la meseta estructural.

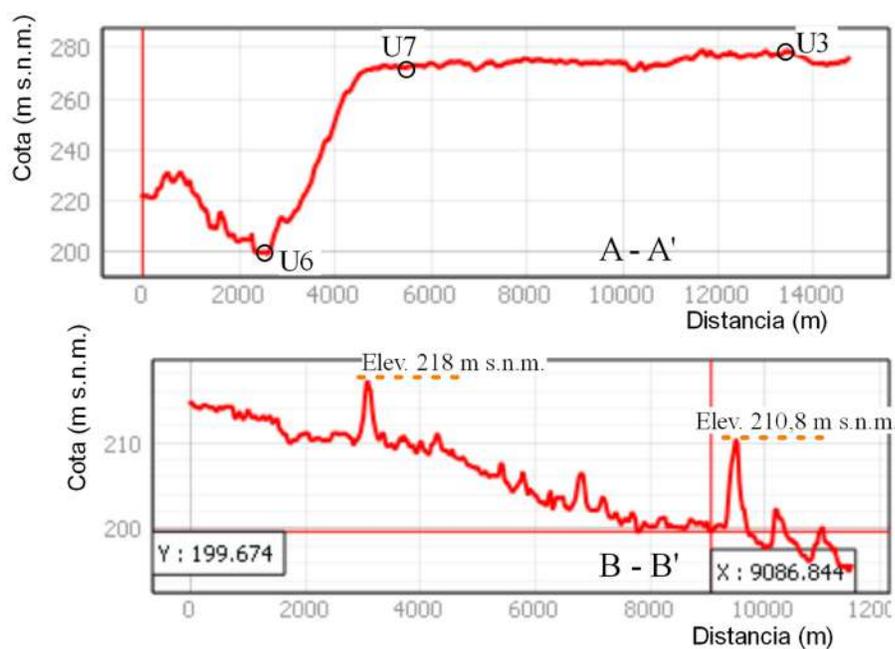
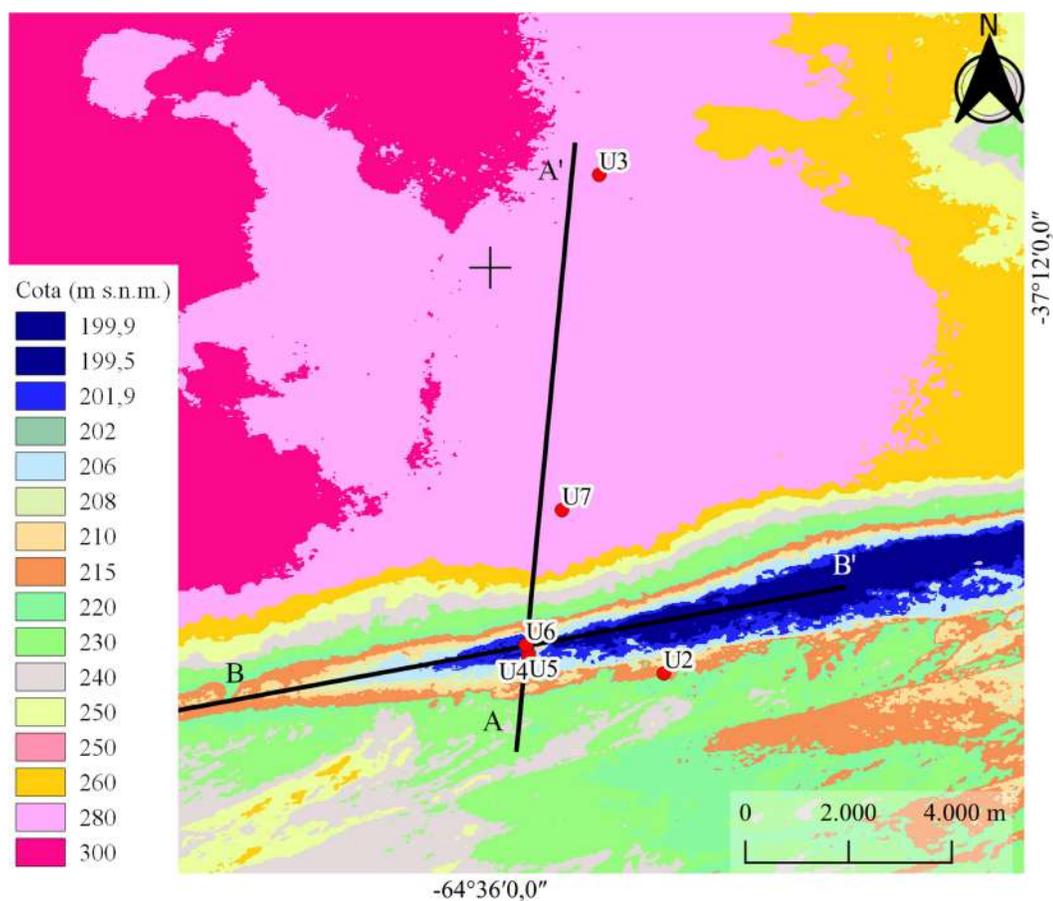


Figura 5.15: Planialtimetría de la zona Utracán. Detalle de ubicación y perfiles de los cortes A-A' y B-B'. Se indican los puntos de observación U3 y U7 (planicie), y U6 (laguna). Menor cota medida por batimetría (Y) de la laguna 199,7 m s.n.m. Eje vertical aumentado 10 veces. El 0 de X se ubica en el comienzo del corte que corresponde (A o B). Eje vertical aumentado 10 veces. Esc. 1:100.000.

5.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

5.2.1. Mediciones en campo

Las Tablas 5.4a y 5.4b muestran los valores tomados en campo para el molino M1 y el punto de muestreo de la laguna M2 en la zona del Meaucó respectivamente (ver Figura 4.17). El pH del agua subterránea en la perforación se mantuvo constante en las diferentes estaciones del año muestreadas con un promedio de 8,4, mientras que en la laguna registró un valor máximo de 10,3 en verano y menores valores en invierno, con un promedio de 9,7. Respecto a la CE medida en campo, se observó en M1 aguas ligeramente más diluidas que en la laguna con un valor en torno a los 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a excepción del mayor valor observado en invierno. En promedio, la CE en M1 fue de 621,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabla 5.4a: Punto de muestreo del agua subterránea (M1) en la zona Meaucó, valores determinados en campo para cada estación del año. Características y coordenadas del punto en Tabla 4.9.

Punto	Estación	Fecha	Cota del NF	pH	CE
			m s.n.m.		$\mu\text{S}/\text{cm}$
M1	Otoño	26/04/18	294,7	8,3	536
	Invierno	06/09/18	s/d	8,7	801
	Primavera	11/12/18	294,6	8,4	581
	Verano	01/03/19	293,4	8,3	567

La laguna, mostró valores de CE muy similares a lo largo del periodo analizado, con un promedio de 770,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La concentración de OD resultó en un promedio de 8,9 mg/L, y por último la turbidez del agua medida con DS para todas las estaciones osciló entre 40 y 50 cm.

Tabla 5.4b: Laguna en la zona Meaucó (M2), valores determinados en campo para cada estación del año. Oxígeno disuelto (OD), disco de Secchi (DS) y conductividad eléctrica (CE). Características y coordenadas del punto en Tabla 4.9.

Punto	Estación	Fecha	Cota pelo agua	pH	OD	DS	CE
			m s.n.m.		mg/L	cm	$\mu\text{S}/\text{cm}$
M2	Otoño	26/04/18	299,8	s/d	8,4	50,0	787
	Invierno	06/09/18	300,2	9,4	9,4	40,0	791
	Primavera	11/12/18	300,2	9,4	s/d	39,5	750
	Verano	01/03/19	300,1	10,3	s/d	46,0	752

Los valores registrados en las perforaciones próximas a la laguna La Salada y en dicha laguna, se detallan en las Tablas 5.5a y 5.5b respectivamente. El pH y la CE en S1 no variaron a lo largo del periodo en estudio, los valores promedios fueron de 8,9 y 1,3 mS/cm respectivamente. En el punto S2 los valores de pH y CE se mantuvieron similares, a pesar de la variación del NF observado. Los valores promedio fueron de 8,6 y 1,1 mS/cm respectivamente. En el punto S3 los valores de pH y CE mostraron una tendencia decreciente, con valores medios de 8,5 y 11,8 mS/cm.

Igualmente, la CE registró un valor con un orden de magnitud superior a las dos perforaciones anteriores. En el caso de S4 los valores de pH y CE medidos en el verano de 2019 fueron 8,0 y 3,1 mS/cm respectivamente. La CE en este caso duplica a la registrada en S1 y S2.

Las muestras de la laguna S5 registraron valores similares de pH en las diferentes estaciones que determinan un promedio de 8,7. La CE en cambio fue más variable en relación al nivel del agua en la laguna. A cotas inferiores los valores fueron más elevados, resultando en un valor promedio de 150,7 mS/cm. Es importante resaltar el significativo cambio en la superficie de la laguna, entre cotas mayores o menores a 116,1 m s.n.m. como se ilustra en el perfil topográfico N-S (ver Figura 5.10), que incide sobre la CE. Este fenómeno es abordado también en el balance hídrico de la laguna en el punto 5.6. Dicho valor es además, el más alto de los tres cuerpos de agua analizados, y constituye una de las lagunas con mayor salinidad de la RVT, que poseen un máximo medido de 239 mS/cm (ver Tabla 3.1).

Tabla 5.5a: Puntos de muestreo del agua subterránea (S1, S2, S3 y S4) en la zona Parque Luro, valores determinados en campo para cada estación del año. Características y coordenadas de los puntos en Tabla 4.11.

Punto	Estación	Fecha	Cota del NF	pH	CE
			m s.n.m.		mS/cm
S1	Verano	07/03/2018		s/d	1,5
	Invierno	10/08/2018		9,2	1,2
	Primavera	21/12/2018		8,7	1,3
	Verano	26/02/2019		s/d	1,3
	Otoño	07/06/2019		s/d	s/d
S2	Verano	07/03/2018	118,1	s/d	1,2
	Invierno	10/08/2018	118,8	8,6	1,0
	Primavera	21/12/2018	118,5	8,8	1,0
	Verano	26/02/2019	118,6	8,5	1,0
	Otoño	27/06/2019	117,8	s/d	s/d
S3	Verano	07/03/2018		s/d	12,8
	Invierno	10/08/2018		9,0	11,6
	Primavera	21/12/2018		8,6	11,3
	Verano	26/02/2019		7,9	11,6
	Otoño	07/06/2019		s/d	s/d
S4	Verano	07/03/2018			
	Invierno	01/09/2018	171,0	s/d	s/d
	Primavera	21/12/2018			
	Verano	26/12/2018	169,6	8,0	3,1

Los valores de turbidez obtenidos con el DS fueron variables. A menor cota y mayor salinidad el DS fue de 76,5 cm mientras que en el caso contrario, el DS fue de 51 cm. Esta variación

está en relación al cambio de la forma y profundidad de la laguna descrita anteriormente. El valor promedio fue de 63,7 cm. La concentración de OD fue similar y resultó en un valor medio de 5,5 mg/L.

Tabla 5.5b: Laguna La Salada (S5), valores determinados en campo para cada estación del año. Oxígeno disuelto (OD), disco de Secchi (DS) y conductividad eléctrica (CE). Características y coordenadas del punto en Tabla 4.11.

Punto	Estación	Fecha	Cota pelo agua	pH	OD	DS	CE
			m s.n.m.		mg/L	cm	mS/cm
S5	Verano	07/03/2018	116,0	s/d	5,2	76,5	> 200,0
	Invierno	10/08/2018	116,2	8,9	s/d	51,0	134,5
	Primavera	21/12/2018	116,1	8,7	5,9	s/d	152,3
	Verano	26/02/2019	115,9	8,4	s/d	s/d	165,3
	Otoño	27/06/2019	116,0	s/d	s/d	s/d	s/d

Los valores registrados y muestreados en las perforaciones próximas a la laguna de Utracán se detallan en las Tablas 5.6a y 5.6b, (ver Figura 4.19). El punto U1 de medición del agua subterránea se ubica a 19,9 km del punto U6 de muestreo de la laguna, y fue recogido como característica representativa de la meseta con influencia en la laguna de Utracán.

Los valores de pH y la CE en U2 se mantuvieron constantes en las diferentes estaciones de medición, siendo sus promedios de 8,3 y 0,4 mS/cm respectivamente. En el punto U3 los valores de pH y CE no muestran cambios en relación al NF y se mantienen más o menos constantes, salvo en el verano de 2019 que son más elevados. Los valores promedios fueron de 8,8 y 1,8 mS/cm respectivamente. En cuanto a U4, los valores medios de pH y CE fueron de 8,7 y 1,2 mS/cm manteniéndose en valores similares en respuesta a un NF sin fluctuaciones. Para el surgente U5 se registraron valores variables de pH y CE y en general mayores a los puntos descriptos anteriormente. Los valores promedios fueron de 9,3 y 3,5 mS/cm respectivamente. Por último, se obtuvo para U7 una sola medida en campo de pH y CE de 8,2 y 3,5 mS/cm.

Para la laguna, en el punto U6 los valores de pH y CE mostraron una variabilidad que no está estrechamente relacionada con el nivel de la laguna, evidenciando el efecto atmosférico como la ocurrencia de lluvias o la evaporación. Los valores de pH y CE fueron particularmente mayores en el periodo estival de 2019. Los valores medios de pH y CE fueron de 9,8 y 61,1 mS/cm respectivamente. Similarmente en dicho periodo es cuando se observó la menor turbidez. En promedio, el valor de DS fue de 31,7 cm y de 8,0 mg/l el de oxígeno disuelto.

Tabla 5.6a: Puntos de muestreo del agua subterránea (U1, U2, U3, U4, U5 y U7) en la zona Utracán, valores determinados en campo para cada estación del año. Características y coordenadas de los puntos en Tabla 4.12.

Punto	Estación	Fecha	Cota del NF	pH	CE
			m s.n.m.		mS/cm
U1	Otoño	04/04/2018	228,5	8,2	0,33
	Invierno	16/08/2018	229,8	8,8	1,01
	Primavera	30/11/2018	232,1	8,5	0,99
	Verano	21/03/2019	228,0	9,1	0,97
U2	Otoño	04/04/2018		8,2	0,03
	Invierno	16/08/2018		8,5	0,46
	Primavera	21/12/2018		8,4	0,49
	Verano	21/03/2019		8,2	0,54
U3	Otoño	04/04/2018	s/d	8,2	1,72
	Invierno	16/08/2018	246,8	8,5	1,76
	Primavera	30/11/2018	248,1	8,3	1,74
	Verano	21/03/2019	247,4	10,1	1,95
U4	Verano	26/02/2018	s/d	8,6	1,35
	Invierno	16/08/2018	202,7	9,0	1,27
	Primavera	21/12/2018	203,0	8,6	1,14
	Verano	21/03/2019	202,1	8,6	1,31
U5	Verano	26/02/2018		s/d	s/d
	Invierno	16/08/2018		9,1	3,07
	Primavera	21/12/2018		s/d	s/d
	Verano	21/03/2019		9,6	3,96
	Otoño	14/05/2019		s/d	s/d
U7	Otoño				
	Invierno	01/09/2018	s/d	s/d	s/d
	Primavera	30/11/2018	s/d	8,2	3,49
	Verano				

Tabla 5.6b: Laguna Utracán (U6), valores determinados en campo para cada estación del año. Oxígeno disuelto (OD), disco de Secchi (DS) y conductividad eléctrica (CE). Características y coordenadas del punto en Tabla 4.12.

Punto	Estación	Fecha	Cota pelo agua	pH	OD	Turbidez	CE
			m s.n.m.		mg/l	cm	mS/cm
U6	Verano	26/02/2018	200,8	9,9	6,9	39,0	56,0
	Invierno	16/08/2018	200,9	10,0	9,6	38,0	56,2
	Primavera	21/12/2018	201,0	9,4	7,5	s/d	51,5
	Verano	21/03/2019	200,9	10,1	s/d	18,0	80,8
	Otoño	14/05/2019	201,0	s/d	s/d	s/d	s/d

5.2.2. Precipitación

A fin de considerar la P en la región y zonas de análisis, se consideraron los registros obtenidos en las estaciones meteorológicas y se los comparó con las P de las localidades próximas a los puntos de medición (Figura 5.16).

Para el periodo de análisis, las P en todas las localidades mostraron un incremento en el año 2017 respecto al promedio anual de la serie en cada localidad. En Quehué el incremento fue del 77% para el 2017 y una disminución del 30% para 2018. En Ataliva Roca el incremento del 2017 es de 43% respecto a la serie histórica y una disminución del 45% en 2018. En Chacharramendi en 2017 superó en 32% al promedio y fue inferior al 4% en 2018. Para el caso de General Acha, la P en 2017 superó en un 69% a la media de la serie, y es el único caso donde en 2018 superó en 4% al promedio de los datos. Por último, en Doblas para 2017 superó en 17% al promedio y en 2018 descendió por debajo del mismo en un 37%.

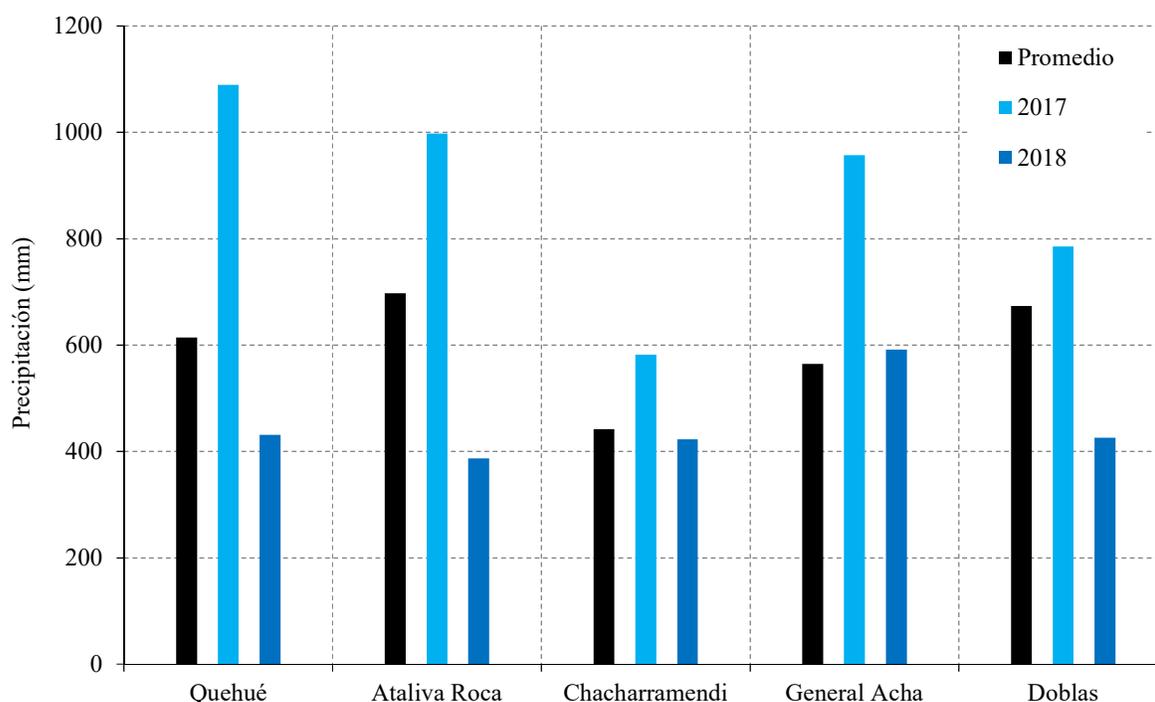


Figura 5.16: Precipitaciones media anual de las localidades de Quehué, Ataliva Roca, Chacharramendi, General Acha y Doblas; y precipitación anual de los años 2017 y 2018. Intervalos de las series históricas en Tabla 4.5.

Como el régimen pluviométrico para el área de estudio muestra una diferenciación estacional, en el que se destacan mayores P en el periodo estival e inviernos típicamente secos, la Figura 5.17 detalla un análisis estacional de las P. Con la excepción de Chacharramendi, en el resto de las localidades la P en el primer semestre del 2017 duplicó a la registrada en el resto de los semestres considerados en las diferentes localidades. Para Chacharramendi se registraron menores

P, valores que se condicen con la disminución de las isohietas en la RVT del NE hacia el SO (ver Figura 3.6).

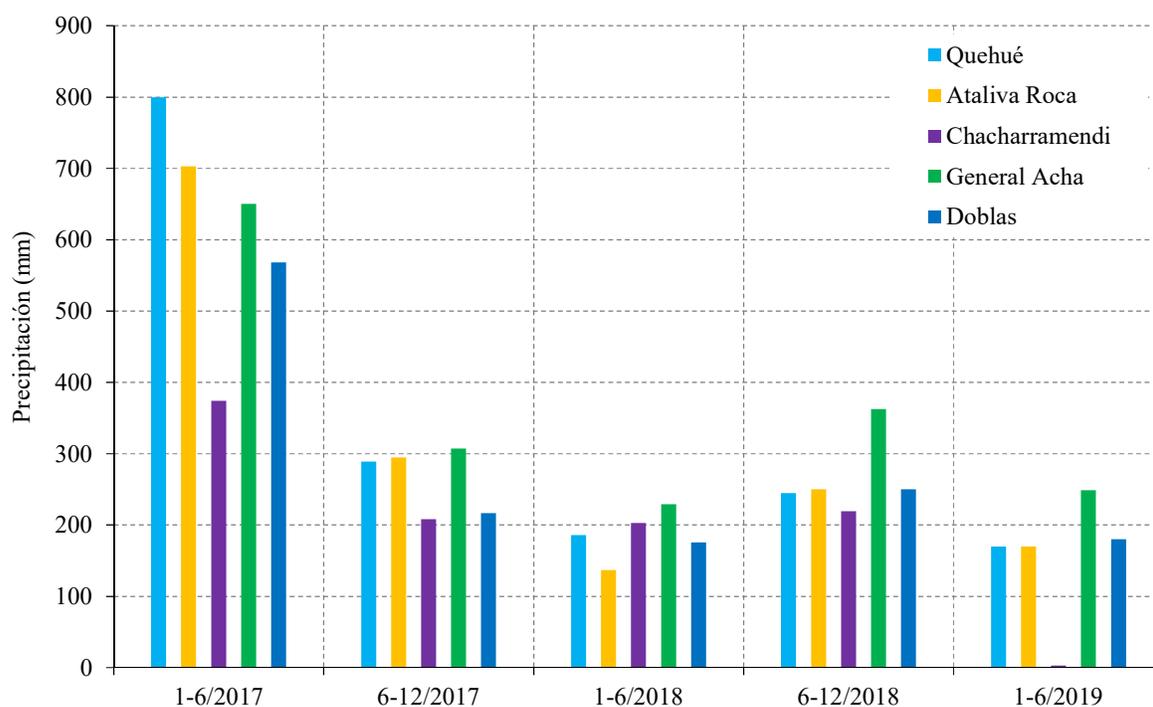


Figura 5.17: Precipitaciones semestrales para las localidades de Quehué, Ataliva Roca, Chacharramendi, General Acha y Doblas. Desde enero del 2017 hasta junio del 2019.

En la Figura 5.18 se observa que los registros de P para la laguna en la zona del Meaucó no son completos, además en Estancia A Puro Campo existe un faltante del 10/18 al 3/19.

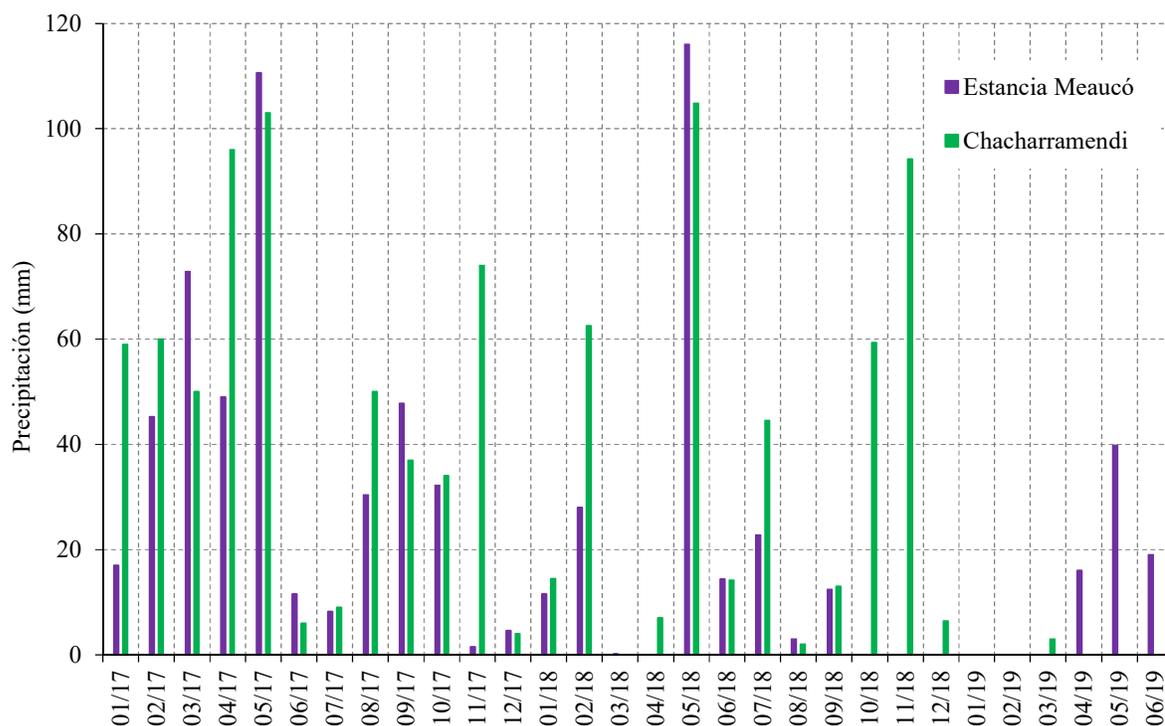


Figura 5.18: Precipitaciones mensuales para la Estancia Meaucó y localidad de Chacharramendi.

Para generar una serie de datos de lluvias en la zona del Meaucó, se tomaron las P de la Estancia Meaucó y se completaron los registros faltantes con los valores registradas en la localidad de Chacharramendi (Tabla 5.7). La serie, por su cercanía, también se aplica sobre el punto de medición M1.

Tabla 5.7: Precipitaciones mensuales (01/17 – 06/19) en milímetros para la Estancia Meaucó, Chacharramendi y la resultante de la combinación.

Fecha	Estancia Meaucó (mm)	Chacharramendi (mm)	Serie resultante(mm)
01/17	17,0	59,0	17,0
02/17	45,2	60,0	45,2
03/17	72,8	50,0	72,8
04/17	49,0	96,0	49,0
05/17	110,6	103,0	110,6
06/17	11,6	6,0	11,6
07/17	8,2	9,0	8,2
08/17	30,4	50,0	30,4
09/17	47,8	37,0	47,8
10/17	32,2	34,0	32,2
11/17	1,5	74,0	1,5
12/17	4,6	4,0	4,6
01/18	11,6	14,5	11,6
02/18	28,0	62,5	28,0
03/18	0,2	0,0	0,2
04/18		7,0	7,0
05/18	116,0	104,8	116,0
06/18	14,4	14,2	14,4
07/18	22,8	44,5	22,8
08/18	3,0	2,0	3,0
09/18	12,4	13,0	12,4
10/18	0,0	59,3	0,0
11/18		94,2	94,2
12/18		6,4	6,4
01/19		0,0	0,0
02/19		0,0	0,0
03/19		3,0	3,0
04/19	16,0	0,0	16,0
05/19	39,8	0,0	39,8
06/19	19,0	0,0	19,0

En la Tabla 5.8 se muestran las P de los 30 meses analizados para Ataliva Roca, Quehué, Chacharramendi y General Acha. En concordancia con la Figura 5.17, la localidad que registró

mayor cantidad de P mensuales para el primer semestre del 2017 fue Quehué, seguido por Ataliva Roca, General Acha, y finalmente Chacharramendi.

Tabla 5.8: Precipitaciones mensuales (01/17 – 06/19) en milímetros para las localidades de Ataliva Roca, Quehué, Chacharramendi y General Acha.

Fecha	Ataliva Roca (mm)	Quehué (mm)	Chacharramendi (mm)	General Acha (mm)
01/17	32,0	104,0	59,0	53,0
02/17	140,0	152,0	60,0	81,0
03/17	238,0	233,0	50,0	184,0
04/17	167,0	142,0	96,0	147,0
05/17	91,0	89,0	103,0	131,0
06/17	35,0	80,0	6,0	54,0
07/17	26,0	18,0	9,0	18,0
08/17	54,0	78,0	50,0	54,0
09/17	78,0	61,0	37,0	83,0
10/17	22,0	29,0	34,0	41,0
11/17	84,0	83,0	74,0	86,0
12/17	31,0	20,0	4,0	25,0
01/18	15,0	75,0	14,5	56,0
02/18	28,0	17,0	62,5	21,0
03/18	6,0	2,0	0,0	22,0
04/18	13,0	28,0	7,0	56,0
05/18	61,0	53,0	104,8	67,0
06/18	14,0	11,0	14,2	7,0
07/18	35,0	24,0	44,5	62,0
08/18	13,0	15,0	2,0	10,0
09/18	27,0	20,0	13,0	57,0
10/18	27,0	39,0	59,3	37,0
11/18	96,0	80,0	94,2	148,5
12/18	52,0	67,0	6,4	48,0
01/19	20,0	29,0	0,0	8,0
02/19	0,0	6,0	0,0	15,0
03/19	80,0	48,0	3,0	82,0
04/19	0,0	3,0	0,0	5,0
05/19	60,0	74,0	0,0	99,0
06/19	10,0	10,0	0,0	40,0

5.2.3. Nivel freático

En general la variación del NF registrada en los sondeos de observación muestra una relación con las P acumuladas mensuales. Esto se debe a que los freatómetros se encuentran

ubicados en zonas medanosas que constituyen el área de recarga de las formaciones acuíferas del área. La evolución del NF de los frentímetros igualmente difiere muchas veces en relación a condiciones locales, sin embargo se observa que en zonas arenosas la respuesta del NF a eventos de P ocurren en lapsos temporales cortos (días a semanas), mientras que en zonas de planicie, los mismos se alargan a semanas o meses.

La Figura 5.19 indica los puntos con información freaticométrica y pluviométrica en la zona del Meaucó.

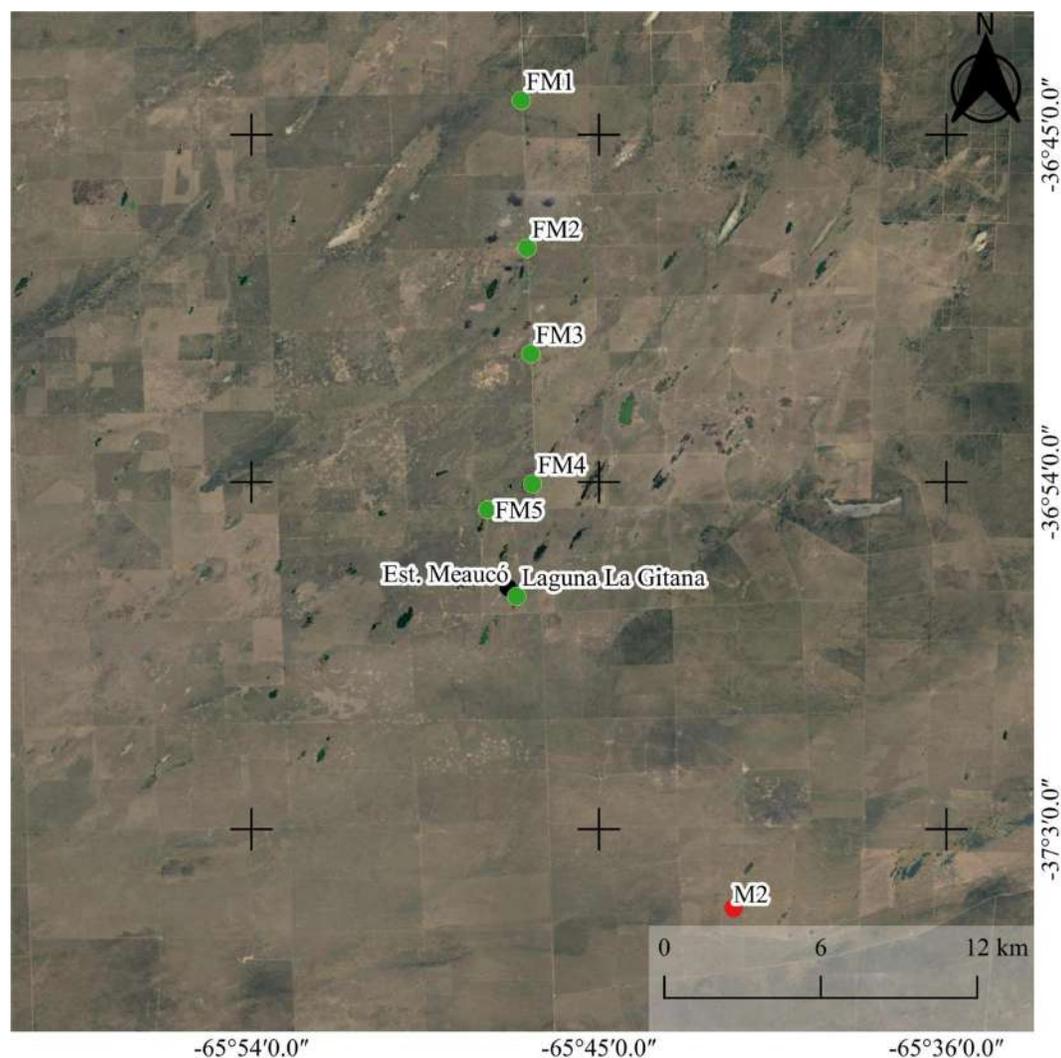


Figura 5.19: Zona Meaucó. Frentímetros FM1, FM2, FM3 y FM4 (verde); Frentígrafo FM5 (verde). Estación meteorológica (Est. Meaucó, negro). Laguna analizada M2 (rojo). Esc. 1:200.000.

El registro del NF tiene una frecuencia aproximada mensual o mayor. Esta frecuencia muchas veces no identifica eventos de recarga puntuales, más aun debido a que suelen faltar los datos del periodo estival, condición que dificulta una adecuada interpretación. Los frentímetros FM1, FM2 y FM3 se comportan de manera similar (Figura 5.20).

Los meses de marzo y mayo del 2017 se puede observar que el NF en los freatímetros FM1, FM2 y FM3 responde a las mayores P ocurridas. No se observa lo mismo en FM4. Posteriormente la ocurrencia de menores P se corresponde con un descenso generalizado del NF. Los valores del NF de febrero de 2018 escapan a dicha interpretación presumiblemente por las dificultades en las observaciones anteriormente descriptas.

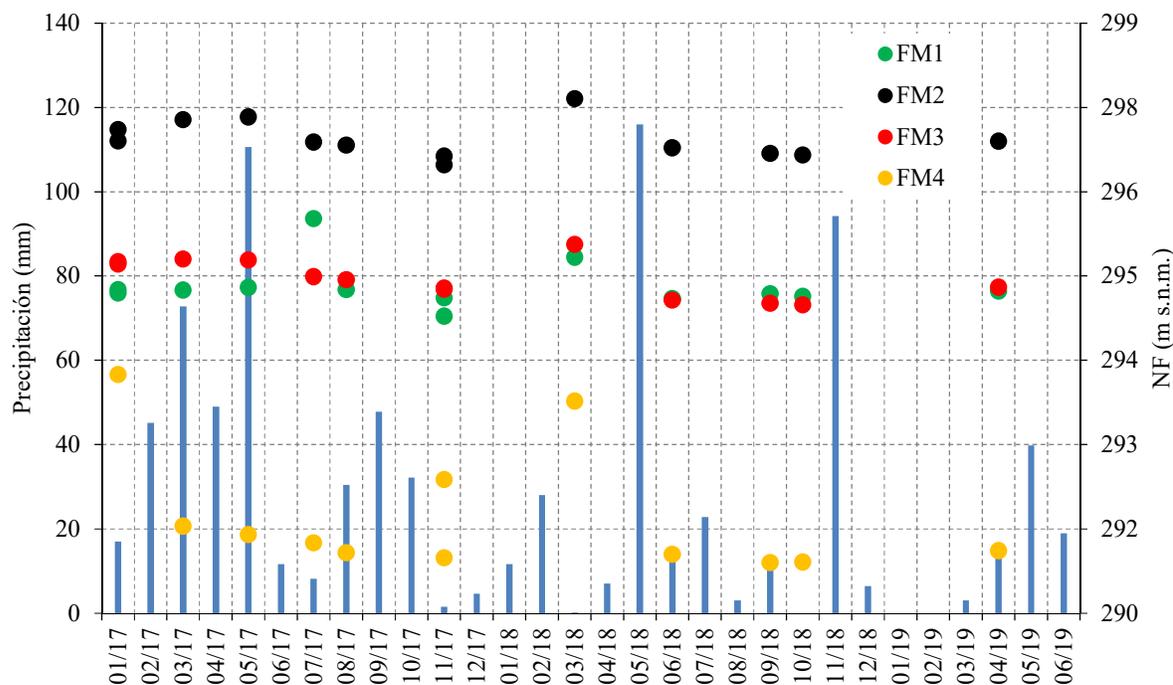


Figura 5.20: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático en los Freatímetros FM1, FM2, FM3 y FM4. Precipitación mensual de la estación meteorológica (Est. Meaucó) completada con la localidad de Chacharramendi.

El registro freatigráfico en FM5 en contraste a la información puntual observada en los freatímetros, muestra la estrecha vinculación entre el NF con la ocurrencia de importantes P. A pesar que existe un faltante de datos a inicios de 2017, se observa que el NF asciende rápidamente en respuesta a los valores de P diaria registrados en mayo de 2018. En el mismo mes la P totalizó 116 mm, de los cuales se registró 105,8 mm en tres días, función de entrada que determinó el marcado ascenso del NF. Se verifica a partir del análisis de las fluctuaciones del NF en que con P acumuladas mensuales superiores a los 60 mm el freatígrafo responde inmediatamente en ascenso, con mayor respuesta si las P registradas son concentradas en corto lapso temporal y por ende mayor intensidad. El resto de los meses con datos de P en Estancia Meaucó producen variaciones menores del limnógrafo. En noviembre del 2018 no hay datos de P en la estación Meaucó, aunque si se toma el acumulado en Chacharramendi (94,2 mm), tampoco se observan variaciones significativas. Es evidente que los registros de P son una importante fuente de incertidumbre que limita la correcta interpretación de eventos de recarga.

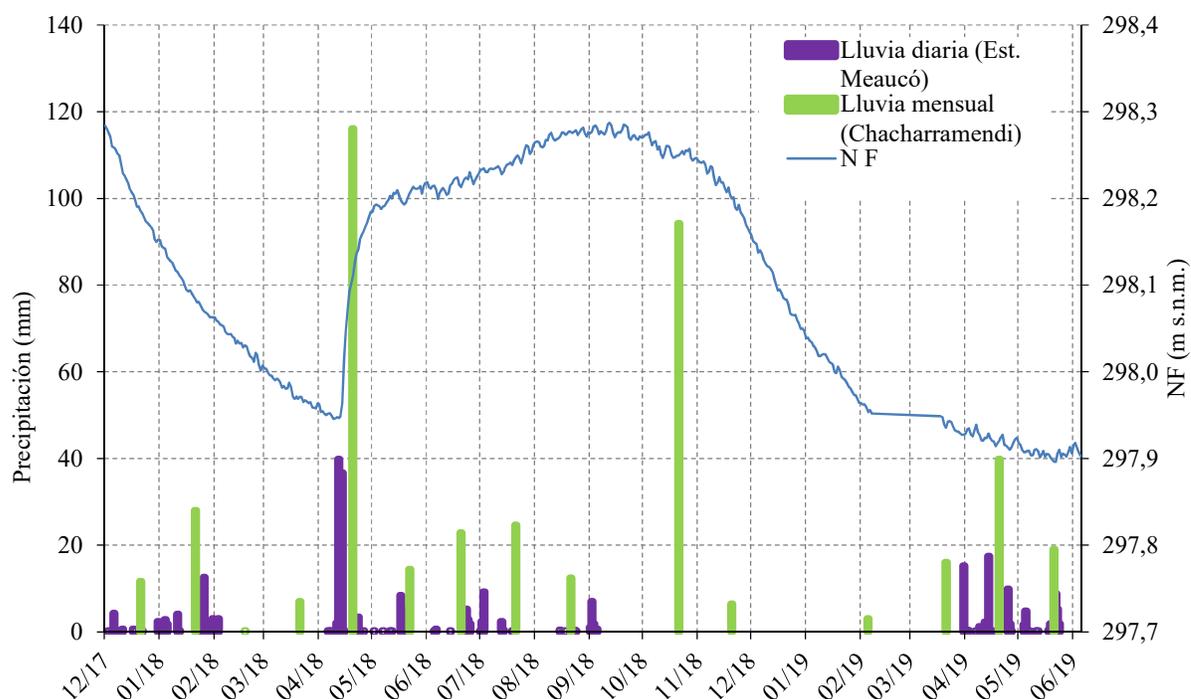


Figura 5.21: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático, Freatígrafo FM5. Precipitación mensual de Chacharramendi (verde). Precipitación diaria de la estación meteorológica (violeta).

En el caso de los freatómetros en el valle de Utracán, también existen faltantes en los datos mensuales. Para FU6, ubicado en la zona de descarga hacia la localidad de General Acha, son de tal magnitud que hizo imposible su utilización. El resto de los freatómetros FU8, FU9 y FU10 están ubicados en el sector central del valle Argentino y representan la zona de recarga y descarga del acuífero respectivamente. Se observa que la dirección del flujo subterráneo es hacia el N, en dirección a la cadena de depresiones donde está contenida la laguna Utracán. El FU7, aunque está en el sentido de escurrimiento hacia la zona de General Acha, se tuvo en cuenta a los fines de caracterizar el NF del cordón medanoso (Figura 5.22).

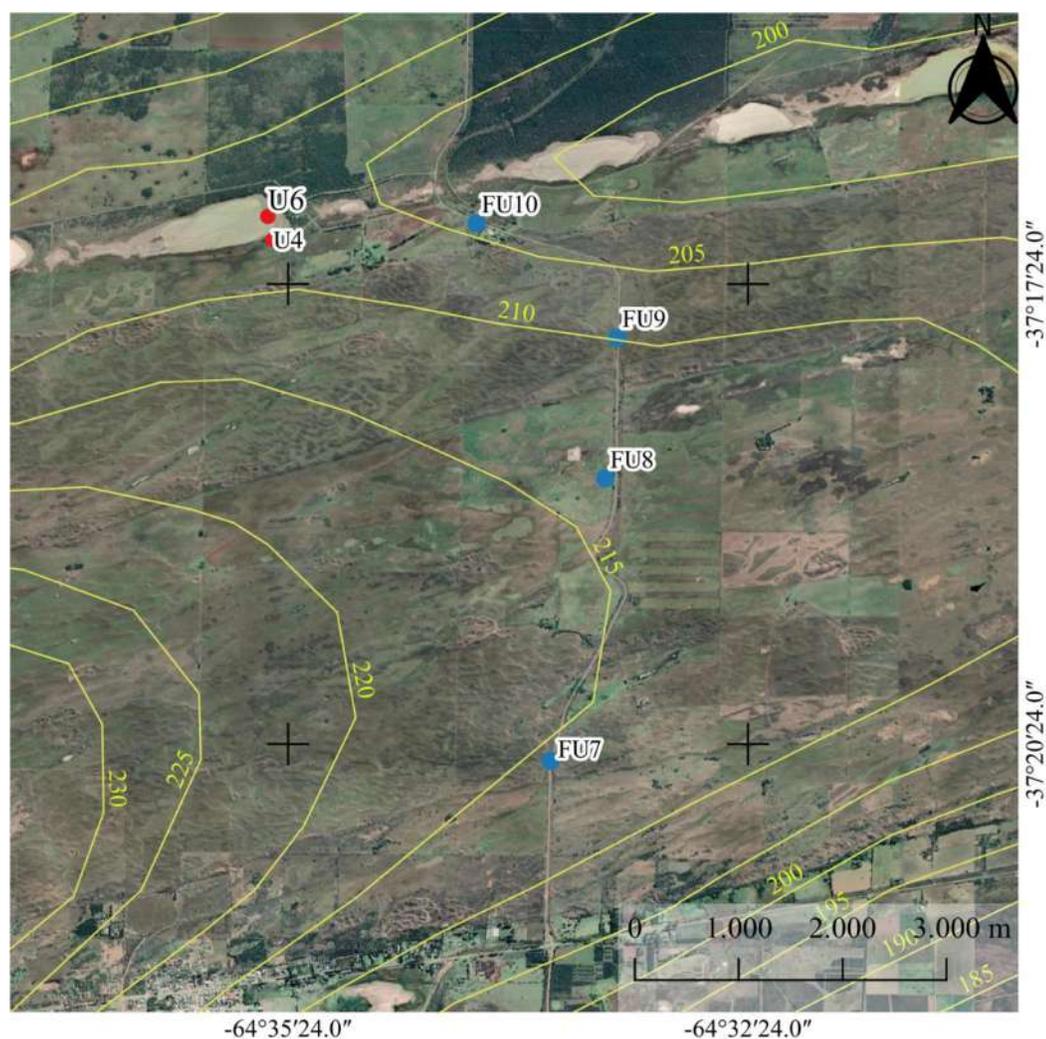


Figura 5.22: Freaímetros (FU7, FU8, FU9 y FU10), y puntos de medición U4 y U6, en Valle Argentino. Curvas equipotenciales (amarillo) para la zona Utracán (m s.n.m.). UNLPam (2017). Esc.1:50.000.

Asumiendo que no existe escurrimiento superficial por tratarse de una zona medanosa, y que el valor de $P > 60$ mm observado en el freaígrafo FM5, constituye un umbral representativo de eventos de recarga en dichos ambientes, al aplicar el principio de continuidad a la ZNS (Ecuación 4.1) en los freaímetros del Valle Argentino, se obtuvo una K promedio.

En la Figura 5.23 se observa que para una profundidad promedio del NF de 8,2 m, el nivel acusó una respuesta al evento de precipitación de marzo-abril de 2017 entre 1 y 2 meses. De esta manera, se obtiene un valor de K de 13,7 cm/día (820 cm en 60 días).

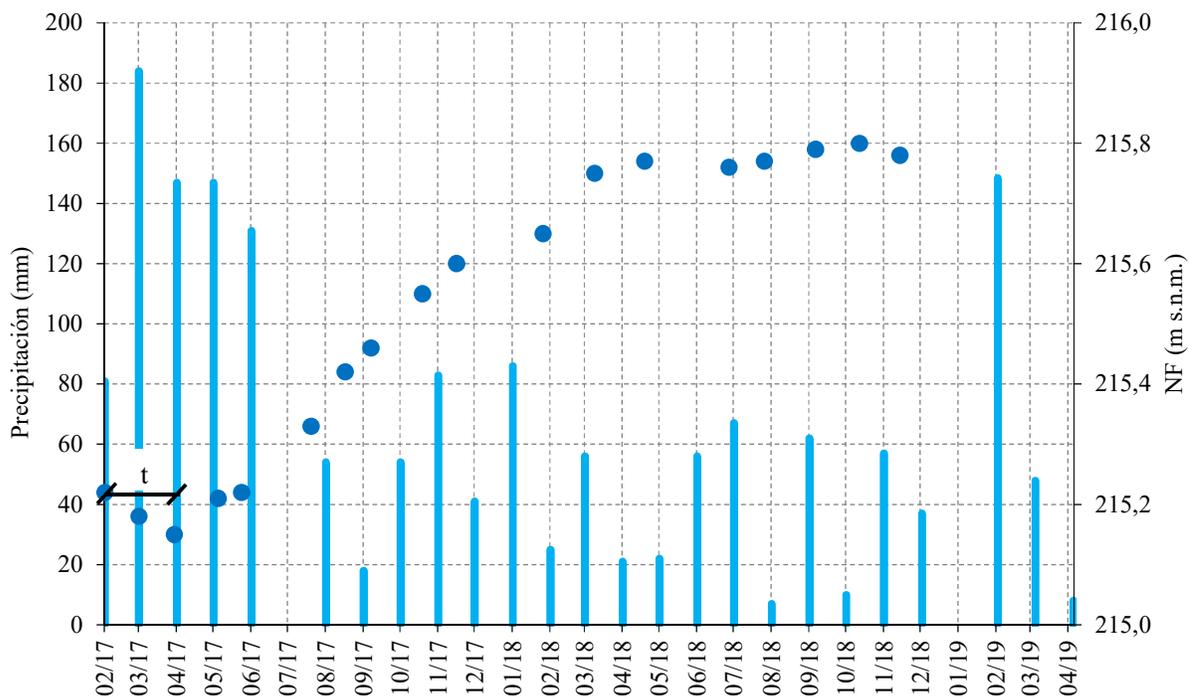


Figura 5.23: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático, freatómetro FU7 (puntos en azul). Precipitación mensual de General Acha (celeste). t : tiempo de respuesta del NF. Cota de la superficie de terreno 223,7 m s.n.m.

Similarmente, para FU8 el NF posee una profundidad promedio de 3,5 m (2/07 al 12/18), y se observa que en el lapso de 1 mes el NF se incrementa para una precipitación acumulada mensual mayor a 60 mm (Figura 5.24). El valor de K es de 11,7 cm/día en ZNS (350 cm en 30 días).

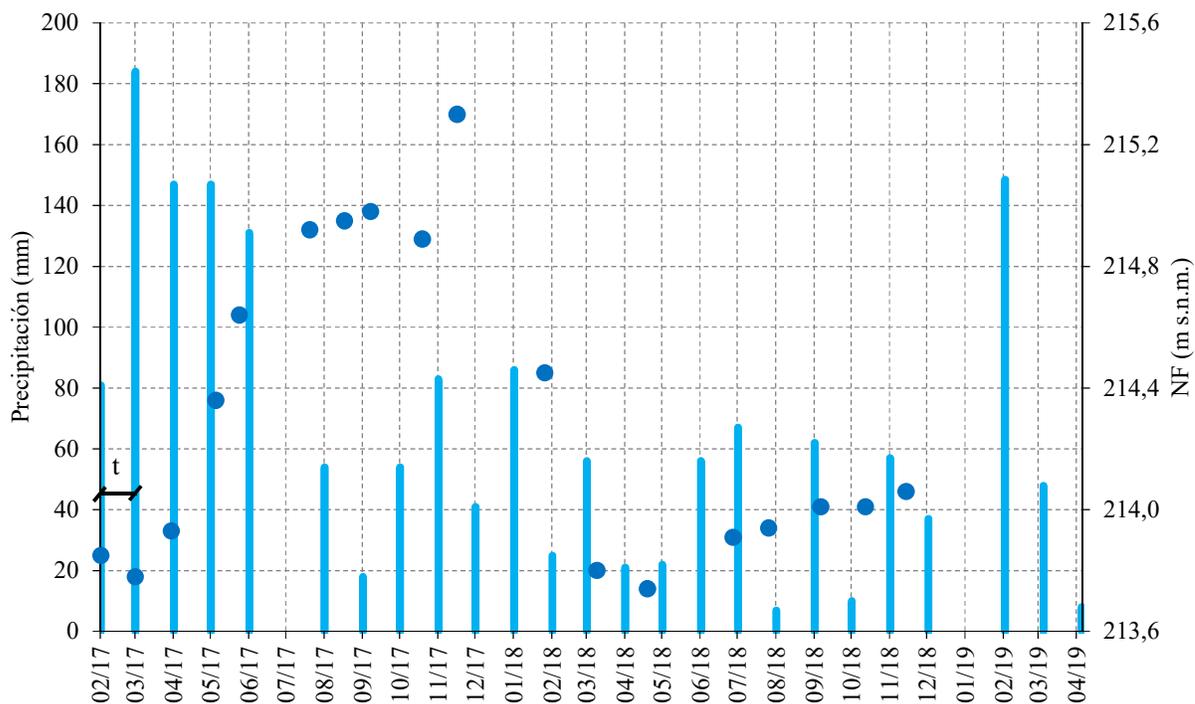


Figura 5.24: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático, frezómetro FU8 (puntos en azul). Precipitación mensual de General Acha (celeste). *t* : tiempo de respuesta NF. Cota de la superficie de terreno 217,8 m s.n.m.

El NF del FU9 posee una profundidad promedio de 5,6 m (2/07 al 12/18), y se verifica que en un lapso inferior a 1 mes el NF se incrementa para una precipitación acumulada mensual mayor a 60 mm (Figura 5.25). El valor de K resultante es 28 cm/día en ZNS (560 cm en 20 días).

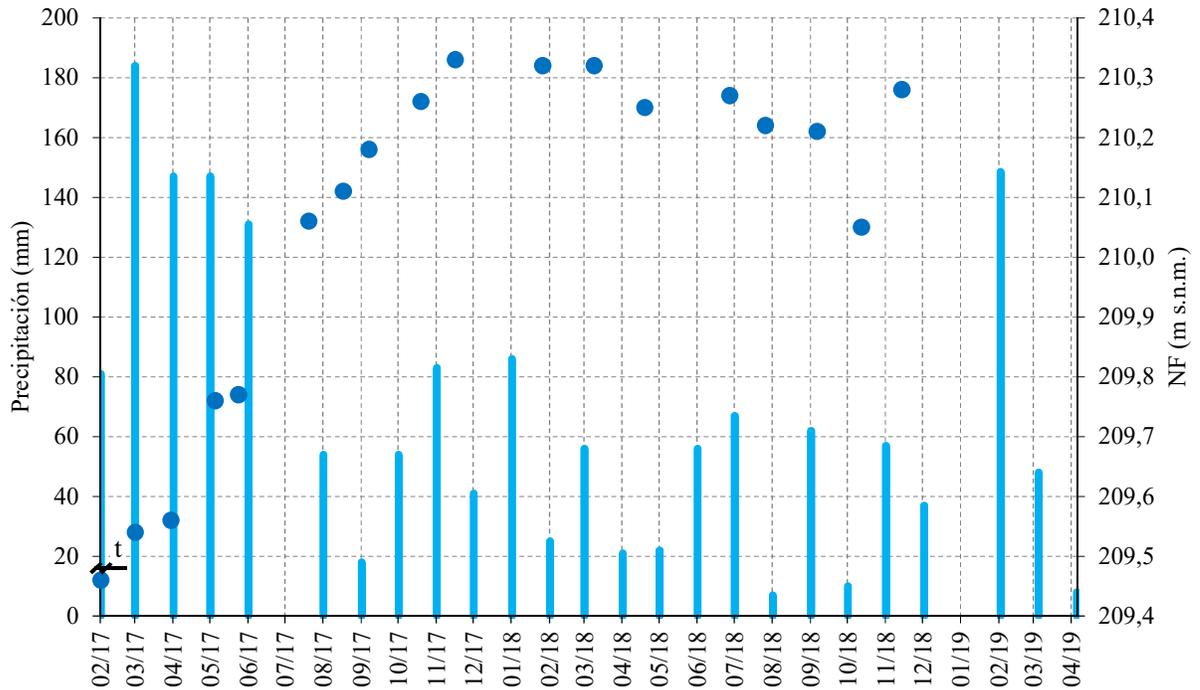


Figura 5.25: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático, frentómetro FU9 (puntos en azul). Precipitación mensual de General Acha (celeste). *t*: tiempo de respuesta NF. Cota de la superficie de terreno 215,7 m s.n.m.

Finalmente, se observa que el NF del FU10 posee una profundidad promedio de 1,2 m (2/07 al 12/18), y que en el lapso inferior a 1 mes el NF se incrementa para una precipitación acumulada mensual mayor a 60 mm (Figura 5.26). El valor de K es 12 cm/día en ZNS (120 cm en 10 días).

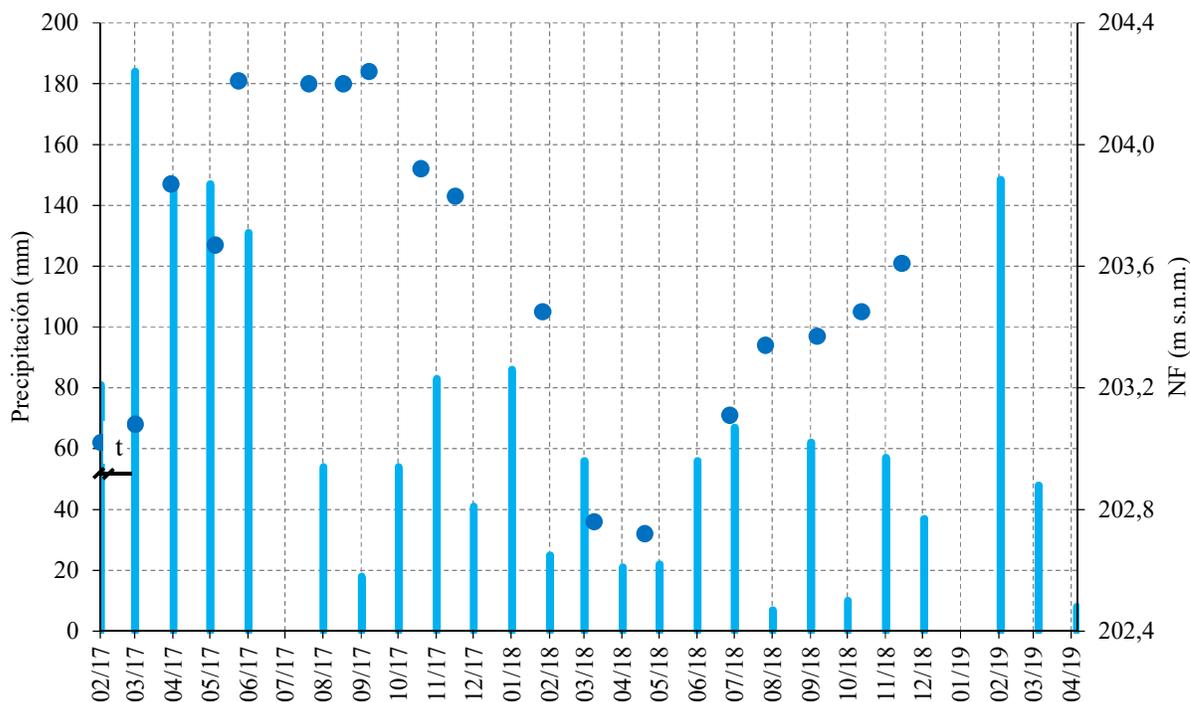


Figura 5.26: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático, freatímetro FU10 (puntos en azul). Precipitación mensual de General Acha (celeste). *t*: tiempo de respuesta NF. Cota de la superficie de terreno 204,7 m s.n.m.

De acuerdo a lo analizado, se muestra en la Tabla 5.9 la comparación entre los valores típicos de conductividad hidráulica saturada (K_s) en ZNS (Carsel y Parrish, 1988) y los valores de K obtenidos. Se observa por su carácter integrador que los valores promedios de K obtenidos son lógicamente menores que los de K_s de arenas, pero superiores a los de limos y arcillas. Existe además, un valor de permeabilidad para las arenas del Valle Argentino, calculada a partir de muestras de “cutting” de una perforación entre 0 y 12 m, que determinó un valor de $4,8 \times 10^{-03}$ m/s (472 cm/d) (Salso, 1971). Se infiere así que el cordón medanoso de Utracán es de arena homogénea sin poseer horizontes que tengan valores menores de K al de la arena. Esto indica la ocurrencia de importantes y cambiantes gradientes hidráulicos del médano hacia la laguna en relación a la ocurrencia de precipitaciones significativas.

Se debe resaltar también que la percolación que alcanzó el NF fue respuesta a P superiores a los 60 mm acumulados mensuales. Sin poder arrojar conclusiones cuando la precipitación fue menor.

Tabla 5.9: Comparación de valores de conductividad hidráulica saturada (K_s) para diferentes texturas y contenidos de humedad residual (θ_r) y de saturación (θ_s) según Carsel y Parrish (1988), y los valores obtenidos de conductividad hidráulica promedio (K) para los freaímetros en el Valle Argentino.

Conductividad hidráulica típica					Valores calculados	
Suelo Textura	θ_r %	θ_s %	$\theta_s - \theta_r$ %	K_s (cm/día)	Freatímetro	K (cm/día)
Arena	0,045	0,43	0,385	712,8	FU7	13,7
Limo	0,034	0,46	0,426	6,0	FU8	11,7
Arcilla	0,068	0,38	0,312	4,8	FU9	28,0
					FU10	12,0

De lo expuesto, se observa que en la zona Meaucó y en la porción de zona Utracán que corresponde al área medanosa, los valores de K son elevados, correspondientes al material de textura granular, arenas, y se infiere que el perfil presenta una uniformidad coincidente con el detallado en la Figura 3.5.

En el caso de la meseta cercana a Utracán se exponen los puntos U1 y U3 de los cuales solo se obtuvieron mediciones del NF durante el presente estudio. La profundidad promedio en las cuatro mediciones para U1 fue de 33,3 m y para U3 el promedio de las tres mediciones fue de 28,7 m, valores que indican en ambos casos un mayor espesor de la ZNS respecto del observado en el cordón medanoso del valle de Utracán.

En la Figura 5.27, se ilustra que el punto U1 exhibe valores del NF coincidentes con la curva piezométrica circundante de 230 m s.n.m., a excepción de noviembre de 2018 en cuando el NF se elevó 2,30 m respecto a la medida anterior (ago/18). Por lo que se infiere, existió recarga de un volumen de agua que hizo subir el NF. Para U3, se observa que sus valores están entre las dos curvas correspondientes de 240 y 250 m s.n.m, y que también en este caso se produce un ascenso del NF de 1,3 m en noviembre de 2018. Del punto U7, solo se poseen valores de mediciones fisicoquímicas, sin embargo se puede agregar que está en el sentido del flujo subterráneo que alimenta a la laguna de Utracán, con una ubicación del NF en los 220,9 m s.n.m. de acuerdo a las curvas piezométricas.

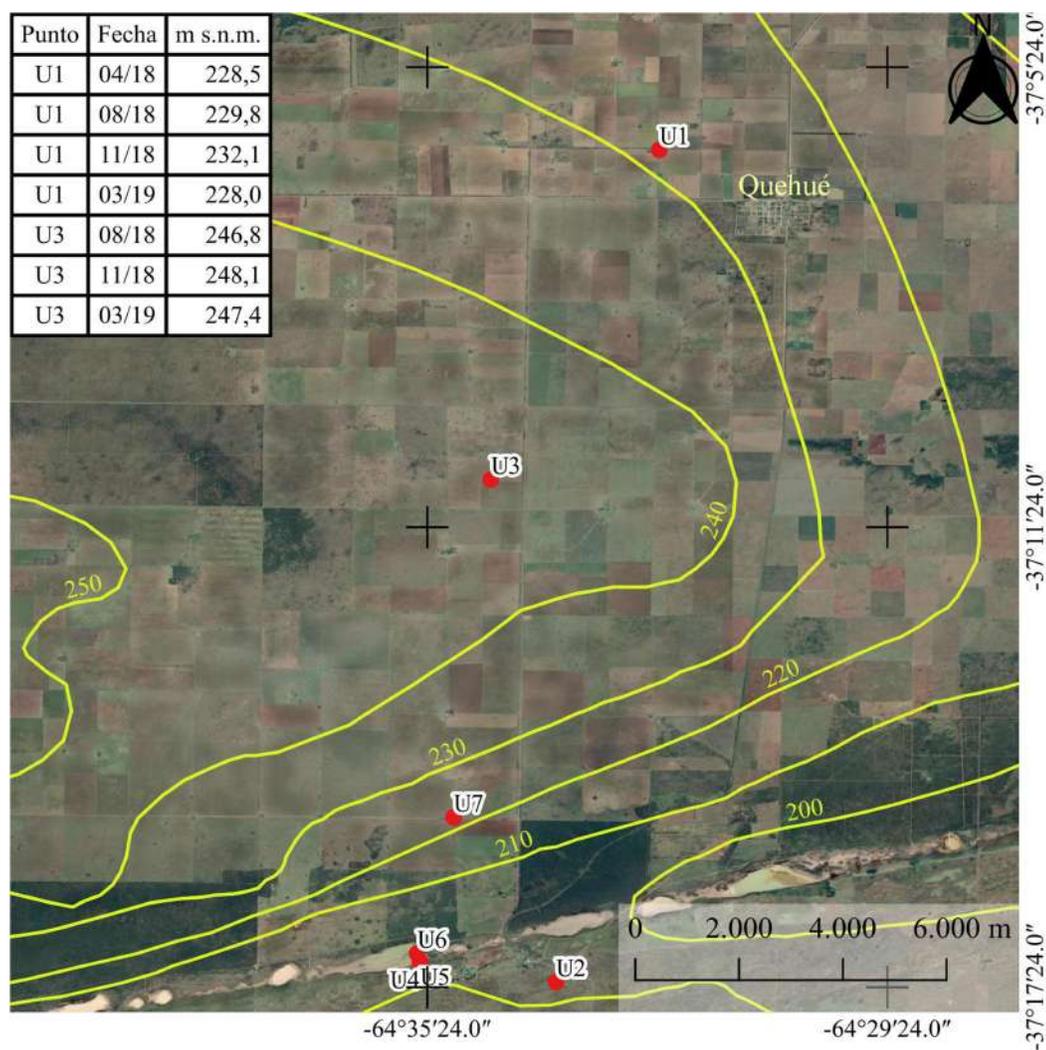


Figura 5.27: Puntos de muestreo U1, U3 y U7. Curvas equipotenciales (amarillo) para la zona Utracán (m s.n.m.). UNLPam (2017). Esc. 1:100.000.

En la Figura 5.28, se observa que el NF freático en U1 y U3 muestra un ascenso pronunciado en nov/18 que no se corresponde necesariamente con P recientes, por no tener la magnitud para producir dicha variación del NF. Teniendo en cuenta que la profundidad del NF es de 33,3 y 28,7 m respectivamente, se asume que existe un desfase temporal entre la ocurrencia de importantes P y los eventos de recarga.

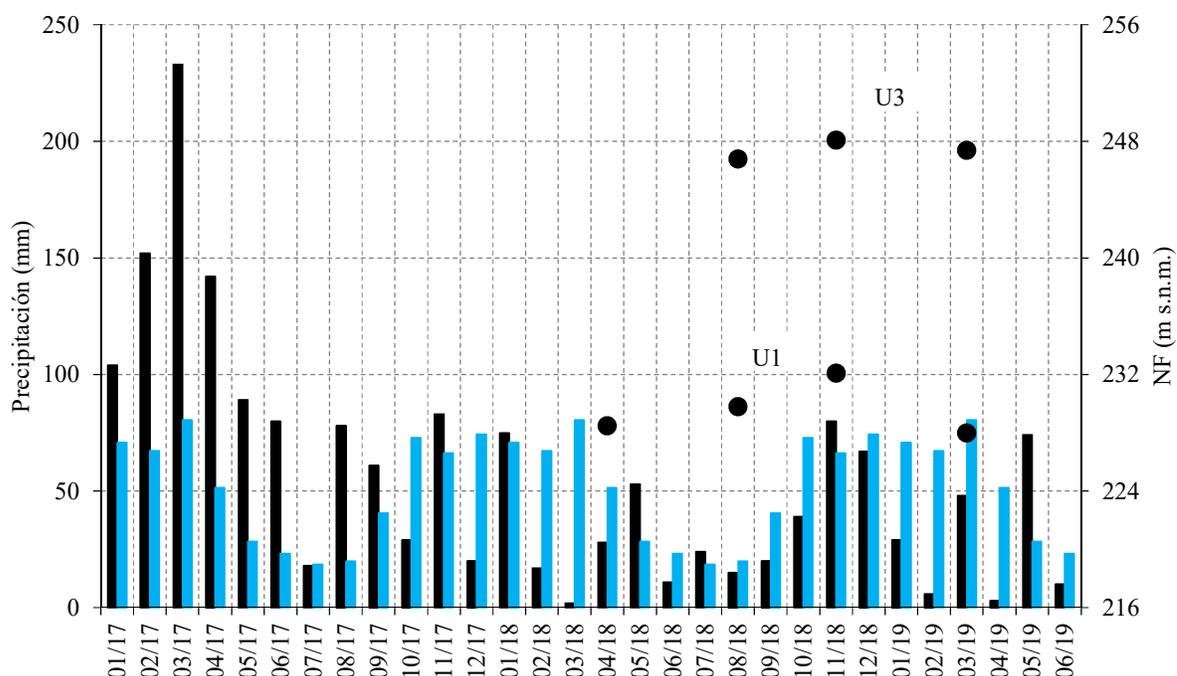


Figura 5.28: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático de los puntos U1 y U3. Precipitación mensual en Quehué desde el 01/17 al 06/19 (negro). Promedio de precipitación mensual de la serie 1921 al 2016 para la localidad de Quehué (celeste).

Aplicando el mismo razonamiento que el empleado para los freatímetros del valle de Utracán, si se considera un lapso temporal entre 15 a 18 meses, que representa el desfase entre el periodo de tres meses muy lluviosos en mar/17 y a la respuesta del NF en sep/18 como fecha promedio, resulta en un valor de K para ZNS de 6,7 a 5,55 cm/día para U1 y U3 respectivamente. Este valor se asemeja a los valores de Ks de suelos con textura de limo (ver Tabla 5.6), condición que se corresponde con el perfil litológico observado típico de la Formación Pampeano de reducidas propiedades hidráulicas donde se aloja el NF, y que subyace a los mantos eólicos superficiales que en el ambiente de planicie son de reducido espesor.

En la Figura 5.29 se detalla la evolución del NF para la zona Parque Luro. El punto S2 ubicado en zona de planicie, no evidenció un cambio marcado del NF. Considerando que se encuentra dentro del Parque Luro, con una cobertura vegetal boscosa y arbustiva en estado natural, se puede inferir que la captación de agua meteórica por el dosel de la vegetación y la afectación radicular del agua en ZNS, contribuye a que sean menores los volúmenes que infiltren, percolen y eventualmente alcancen la zona saturada. El punto S4 al incluirse luego en la medición, solo se posee dos puntos medidos del NF con una diferencia de 1,4 m entre los niveles relevados.

Para el pozo S2 se observa igualmente un ascenso del NF en ago/18 de 0,7 m. Similarmente a lo planteado para el ambiente de planicie de Utracán, si se considera un lapso temporal (en este caso 13 a 15 meses) de respuesta del NF a la precipitación, coincidente con las importantes

precipitaciones ocurridas en otoño de 2017, y un espesor de la ZNS de 22,5 m, el valor de K de la ZNS es de 5,7 a 5,0 cm/d.

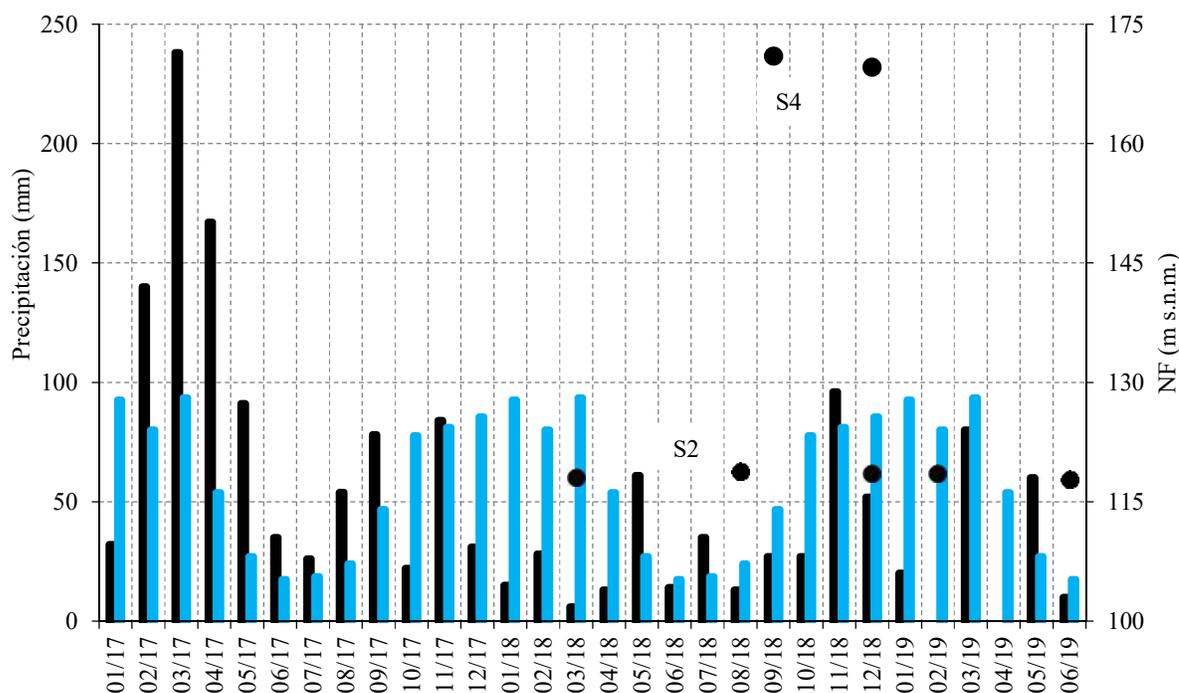


Figura 5.29: Comparación de las precipitaciones y del nivel freático de los puntos S2 y S4. Precipitación mensual en Ataliva Roca desde el 01/17 al 06/19 (negro). Promedio de precipitación mensual de la serie 1921 al 2016 para la localidad de Ataliva Roca (celeste).

Al cotejar con los perfiles litológicos de IIRNLP (ver Figura 3.3), se observa que en el valle de Utracán y Quehué a una profundidad mayor a los 8 m existen estratos de limo y arena fina. La continuidad de estratos de limos y arena fina al menos hasta el NF, corrobora que el NF se aloja en la Formación Pampeano de reducidas propiedades hidráulicas, en las zonas de meseta de Utracán y Parque Luro.

La expresión hidroquímica y la evolución de los NF observados se corresponde con la hidrodinámica subterránea descrita por la superficie freaticométrica (ver Figuras 3.14 a 3.17). El menor gradiente hidráulico en áreas de planicie resulta en menores variaciones del NF como se observó en torno a la laguna La Salada, la cual debido a su ubicación en una gran depresión topográfica intercepta el flujo regional O-E, y le confiere una condición hipersalina extrema. Similar característica se observa en el ambiente de planicie al N de la laguna de Utracán. Por el contrario, en las áreas medanosas del Meaucó y del Valle Argentino, al S de la laguna de Utracán, el NF muestra una mayor fluctuación debido a la existencia de flujos locales vinculados a la recarga de origen meteórica. Esta configuración, determina un bajo tenor salino en la laguna del Meaucó y un valor intermedio en la laguna de Utracán.

5.2.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración constituye en ambientes de llanura sin drenajes definidos, la principal función de salida de los sistemas hídricos. Para las lagunas en análisis, se asume que las pérdidas por evaporación directa equivalen a la ETP. En este sentido, el método utilizado para el cálculo de la ETP es el de Thornthwaite, dado que es un método climático, y cuyos reducidos requerimientos de información pueden ser obtenidos en el área de estudio. Se debe tener en cuenta que aunque es un procedimiento ampliamente utilizado, cuando es aplicado en climas áridos o semiáridos y a pasos de tiempo mayores a lo diario, los resultados sobreestiman el valor de ETP (IIRNLP, 1980). En la Figura 5.30 se indica la ubicación de las dos estaciones meteorológicas EM y EAPC que poseen registros de temperatura para el cálculo de la ETP de las lagunas en análisis.

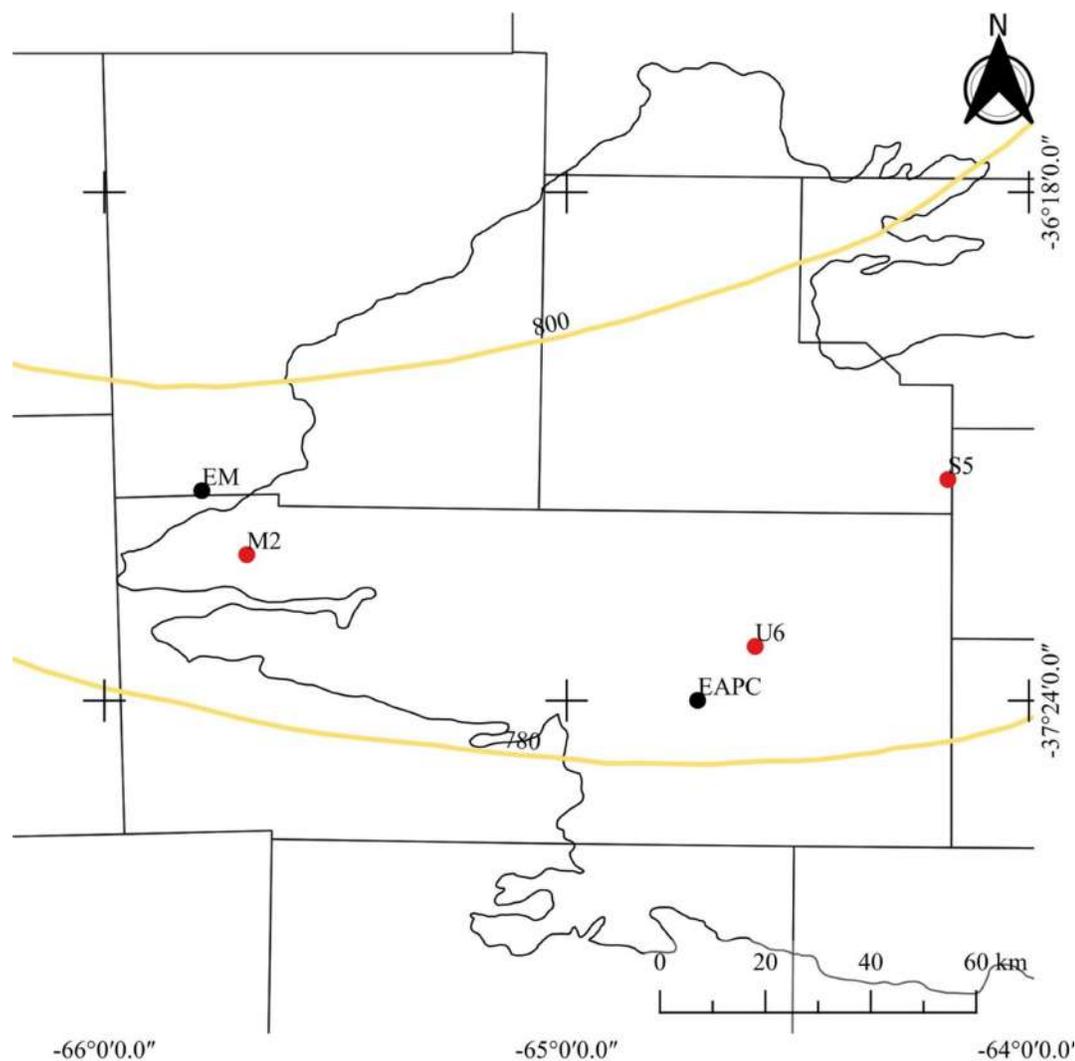


Figura 5.30: Estaciones meteorológicas automáticas Estancia Meaucó (EM) y A Puro Campo (EAPC). Puntos de medición en lagunas (M2, S5 y U6). En amarillo Isótopos de ETP de 800 y 780 mm del IIRNLP, 1980. Esc. 1:1.000.000.

En la Figura 5.31 se muestra las marchas de la temperatura media mensual registradas en ambas estaciones para el periodo en estudio. Se visualizan que los valores son similares aunque menores en EAPC, y que ambos siguen una misma marcha para la serie de 30 meses. El cálculo de la ETP (Ecuaciones 4.2 a 4.5) muestra lógicamente una marcha muy similar a las series de temperatura en ambas estaciones (Figura 5.32).

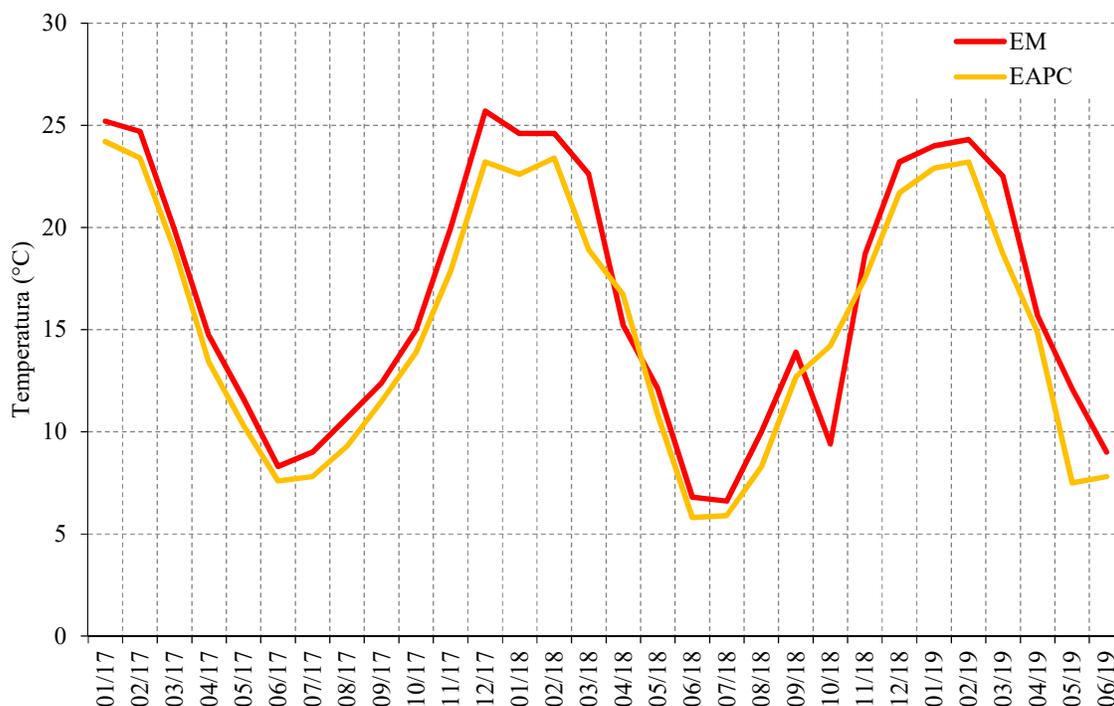


Figura 5.31: Temperaturas medias mensuales cronológicas de las Estaciones Meaucó (EM) y A puro campo (EAPC) para los 30 meses analizados (1/17 al 6/19).



Figura 5.32: Evapotranspiración Potencial (ETP) calculada por Thornthwaite para las Estaciones Meaucó (EM) y A puro campo (EAPC) para los 30 meses analizados (1/17 al 6/19).

En la Tabla 5.10 se indican los valores obtenidos para la EM (848 y 813,5 mm) y EAPC (785,8 y 774,6 mm) correspondiente a los años 2017 y 2018 respectivamente. Se observa que los mismos se ajustan a la isolínea de ETP de 800 y 780 mm del IIRNLP (Figura 5.30) que recorre la zona de O a E cercana a las dos estaciones que se usaron para el cálculo.

Tabla 5.10: Temperatura (T) y Evapotranspiración Potencial (ETP) calculada por Thornthwaite para las Estaciones Meaucó (EM) y A Puro Campo (EAPC) para los 30 meses analizados (1/17 al 6/19).

Fecha	EM		EAPC	
	T (°C)	ETP (mm)	T (°C)	ETP (mm)
01/17	25,2	149,3	24,2	141,7
02/17	24,7	135,8	23,4	126,4
03/17	19,9	85,4	18,9	82,4
04/17	14,7	46,0	13,4	43,5
05/17	11,6	27,6	10,3	26,0
06/17	8,3	14,7	7,6	15,2
07/17	9,0	17,3	7,8	16,3
08/17	10,7	25,6	9,3	23,6
09/17	12,4	36,3	11,5	36,2
10/17	15,0	55,3	13,9	53,6
11/17	20,0	98,1	17,9	86,4
12/17	25,7	156,6	23,2	134,5
01/18	24,6	144,1	22,6	127,8
02/18	24,6	135,7	23,4	126,8
03/18	22,6	107,6	18,9	83,0
04/18	15,2	50,9	16,7	62,0
05/18	12,1	31,6	10,8	28,5
06/18	6,8	11,6	5,8	10,3
07/18	6,6	11,3	5,9	10,9
08/18	10,0	24,6	8,3	20,2
09/18	13,9	46,5	12,7	43,0
10/18	9,4	26,9	14,2	56,2
11/18	18,7	89,9	17,5	84,2
12/18	23,2	132,8	21,7	121,7
01/19	24,0	137,9	22,9	132,6
02/19	24,3	132,5	23,2	127,1
03/19	22,5	106,1	18,7	84,8
04/19	15,7	52,5	14,9	55,1
05/19	12,1	30,7	7,5	18,6
06/19	9,0	17,6	7,8	18,6
Total 2017		848,0		785,8
Total 2018		813,5		774,6

5.3. HIDROQUÍMICA

Las Tablas 5.11a y 5.11b, detallan los resultados de los análisis de laboratorio de muestras de agua subterránea y superficial colectadas en dos sitios en la zona Meaucó, el molino (M1) y la laguna (M2) respectivamente. Los parámetros analizados incluyen iones mayoritarios y algunos minoritarios relevantes. Además, se realizaron determinaciones bacteriológicas y de elementos que constituyen nutrientes como indicadores del estado limnológico de los cuerpos de agua. Se observa que las mediciones en laboratorio coinciden con las mediciones realizadas a campo.

El agua superficial M2 presentó una mayor salinidad (CE y RS) en todas las mediciones estacionales respecto de la observada en el agua subterránea M1. En cuanto a los iones mayoritarios se observa en el caso del cloruro que los valores fueron estacionalmente similares en M1 y M2, y aproximadamente constantes, excepto el menor valor observado en M1 en abril de 2018. Mientras que el anión sulfato registró valores levemente superiores en el agua subterránea. El calcio mostró valores similares para las dos aguas, al igual que el magnesio, a excepción de la medición de abril de 2018, cuando duplicó su valor en la laguna. El potasio registró en la laguna valores que duplicaron a los del agua subterránea, mientras que los valores del sodio fueron similares en las dos aguas. En iones minoritarios, por ejemplo el flúor mostró valores levemente superiores en el agua subterránea. Los nitratos y nitritos no evidenciaron una estacionalidad marcada, con valores similares en las dos aguas. El amonio solo presenta un valor en abril de 2018, siendo el agua de la laguna el doble de la subterránea. El hierro y el manganeso en general no presentaron diferencias en los valores estacionales y entre los dos sitios. La sílice en la laguna presentó en todos los casos, valores superiores al del agua subterránea.

En el caso del fósforo y nitrógeno total, los valores de las dos aguas son muy similares, inclusive para la misma estación del año en cada sitio de medición, aunque el PT presentó una marcada diferencia en las mediciones con un mayor valor en noviembre de 2018.

En M2, existió un valor elevado de bacterias coliformes, posiblemente por la presencia, observada en campo, de ganado usando la laguna de abrevadero. Sin embargo, los valores de nitritos y nitratos son habituales para aguas naturales y no evidenciaron la ocurrencia de contaminación orgánica ($\text{NO}_3^- < 45 \text{ mg/L}$).

Luego en la Tabla 5.11c se compara para los dos puntos de muestreo los diferentes valores medios de las variables analizadas. Si bien al promediar valores de las diferentes determinaciones en cada sitio se pierde la variación y puede verse limitada su representación, es útil como indicador de la composición promedio del agua subterránea y superficial en la zona Meaucó.

Tabla 5.11a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo M1 (agua subterránea) y M2 (laguna) en la zona Meaucó. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Carbonatos (AC), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Flúor (F⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻).

Punto de muestreo Fecha	M1				M2			
	26/04/18	06/09/18	11/12/18	01/03/19	26/04/18	06/09/18	11/12/18	01/03/19
Laboratorio	A	B	B	B	A	B	B	B
pH	7,9	8,3	8,5	8,2	9,0	8,6	8,6	9,1
CE (µS/cm)	530	670	692	670	850	912	915	828
RS (105 °C, mg/L)	322	460	485	470	502	640	640	574
AC (mg/L, CaCO ₃)					60,0			
AB (mg/L, CaCO ₃)	277	260	300	315	367	432	444	390
AT (mg/L, CaCO ₃)	277	260	300	315	427	432	444	390
DT (mg/L, CaCO ₃)	163	196	187	177	246	202	190	188
Cl ⁻ (mg/L)	6,6	35,6	29,3	17,0	20,6	31,8	25,0	28,3
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	11,7	10,0	10,0	11,0	11,6	3,0	4,0	4,0
Ca ²⁺ (mg/L)	31,9	78,5	75,0	70,8	17,3	80,9	76,0	75,3
Mg ²⁺ (mg/L)	20,1	25,5	27,0	25,8	48,6	29,4	27,7	27,4
K ⁺ (mg/L)	6,4	7,8	7,1	7,2	23,4	15,2	14,7	15,0
Na ⁺ (mg/L)	51,8	36,0	32,0	15,4	80,5	34,0	41,0	25,0
F ⁻ (mg/L)		2,3	1,8	2,1		1,4	1,1	1,7
As (mg/L,)	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01
NO ₃ ⁻ (mg/L)	12,6	7,6	4,1	5,7	7,0	12,4	7,7	9,5
NO ₂ ⁻ (mg/L)		0,02	0,04	0,03		0,05	0,05	0,05

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.11b: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo M1 (agua subterránea) y M2 (laguna) en la zona Meaucó. Amonio (NH₄⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO₂), Fosforo (PO₄²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Coliformes Termotolerante (CT), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Escherichia Coli (EC), Pseudomona Aeruginosa (PA).

Punto de muestreo	M1				M2			
	26/04/18	06/09/18	11/12/18	01/03/19	26/04/18	06/09/18	11/12/18	01/03/19
Laboratorio	A	B	B	B	A	B	B	B
NH ₄ ⁺ (mg/L)	1,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0
Fe (mg/L)	0,2	2,5	9,4	1,9	0,2	20,0	3,1	2,5
Mn (mg/L)	<0,01	0,94	0,00	0,38	<0,01	0,69	0,00	0,69
SiO ₂ (mg/L)	53,0	49,1	42,6	45,6	28,0	23,9	0,5	3,9
Si (mg/L)		22,9	19,9	21,3		11,2	0,2	1,8
PO ₄ ²⁻ (mg/L)			151,9	34,4		---	150,6	33,1
PT (mg/L)	1,7	11,2	49,4	11,2	0,4	13,1	49,4	10,6
NT (mg/L)	2	11,2	15,0	13,1	4,0	15,0	15,2	10,6
BCT 37°C (NMP/100ml)	4				1.200			
CT 44°C (NMP/100ml)	<3				200			
BAT 35°C (UFC/ml)				>2.400				>2.400
OC/100 ml				<3				23
EC/100 ml	Ausencia			Ausencia	40			Ausencia
PA/100 ml				Presencia				Presencia

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Si se contrasta los valores obtenidos (Tabla 5.11c) con las Tablas de la 3.2 y 3.4, donde se muestra la variabilidad posible del agua superficial y subterránea en la RVT, se observa que la salinidad en M1 y M2 no solo poseen el mismo orden de magnitud, sino que se verifican valores similares en la mayoría de los parámetros analizados. Igualmente, se observa que en general las concentraciones de los parámetros son mayores en el agua superficial respecto de la subterránea, exceptuándose el sulfato, flúor, arsénico y sílice.

Tabla 5.11c: Promedio de los valores fisicoquímicos en la zona Meaucó. M1 (agua subterránea) y M2 (laguna). pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Flúor (F⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻), Amonio (NH₄⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO₂), Fosforo (PO₄²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT).

Punto de muestreo	M1	M2
pH	8,2	8,8
CE (μS/cm)	640	876
RS (105 °C, mg/L)	434	589
AB (mg/L, CaCO ₃)	288	408
AT (mg/L, CaCO ₃)	288	423
DT (mg/L, CaCO ₃)	181	206
Cl ⁻ (mg/L)	22,1	26,4
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	10,7	5,6
Ca ²⁺ (mg/L)	64,0	62,4
Mg ²⁺ (mg/L)	24,6	33,3
K ⁺ (mg/L)	7,1	17,1
Na ⁺ (mg/L)	33,8	45,1
F ⁻ (mg/L)	2,1	1,4
As (mg/L)	0,03	0,01
NO ₃ ⁻ (mg/L)	7,5	9,1
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,03	0,05
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,25	0,53
Fe (mg/L)	3,5	6,5
Mn (mg/L)	0,44	0,46
SiO ₂ (mg/L)	47,6	14,1
Si (mg/L)	21,4	4,4
PO ₄ ²⁻	93,1	91,9
PT (mg/L)	18,4	18,4
NT (mg/L)	10,3	11,2

En la Figura 5.33 se indica que tanto el agua de la laguna (M2), como la subterránea muestreada en el molino (M1) son bicarbonatadas cálcicas y/o sódicas. Por lo que es, desde el punto hidroquímico, es el mismo tipo de agua tanto la subterránea como la de la laguna.

Esto difiere respecto del patrón general de las aguas superficiales observado en la RVT donde se observa que las mismas son del tipo clorurada y/o sulfatada sódica (ver Figura 3.11), mientras que las subterráneas son bicarbonatadas sódicas y sulfatadas y/o cloruradas sódicas (ver Figura 3.13). Esto indica que la laguna de zona Meaucó es claramente un ambiente de médano particular que no representa necesariamente a todos los ambientes de la RVT, que engloba principalmente a los ambientes de planicie y a los valles transversales con lagunas ubicadas en grandes depresiones topográficas. La zona Meaucó posee el mismo tipo de agua superficial y subterránea, lo que indica la estrecha conectividad de ambas mediante flujos de descarga freática local. Además, el agua de la laguna presenta una mayor salinidad que el agua subterránea, parámetro que indica el efecto evaporativo en el agua superficial.

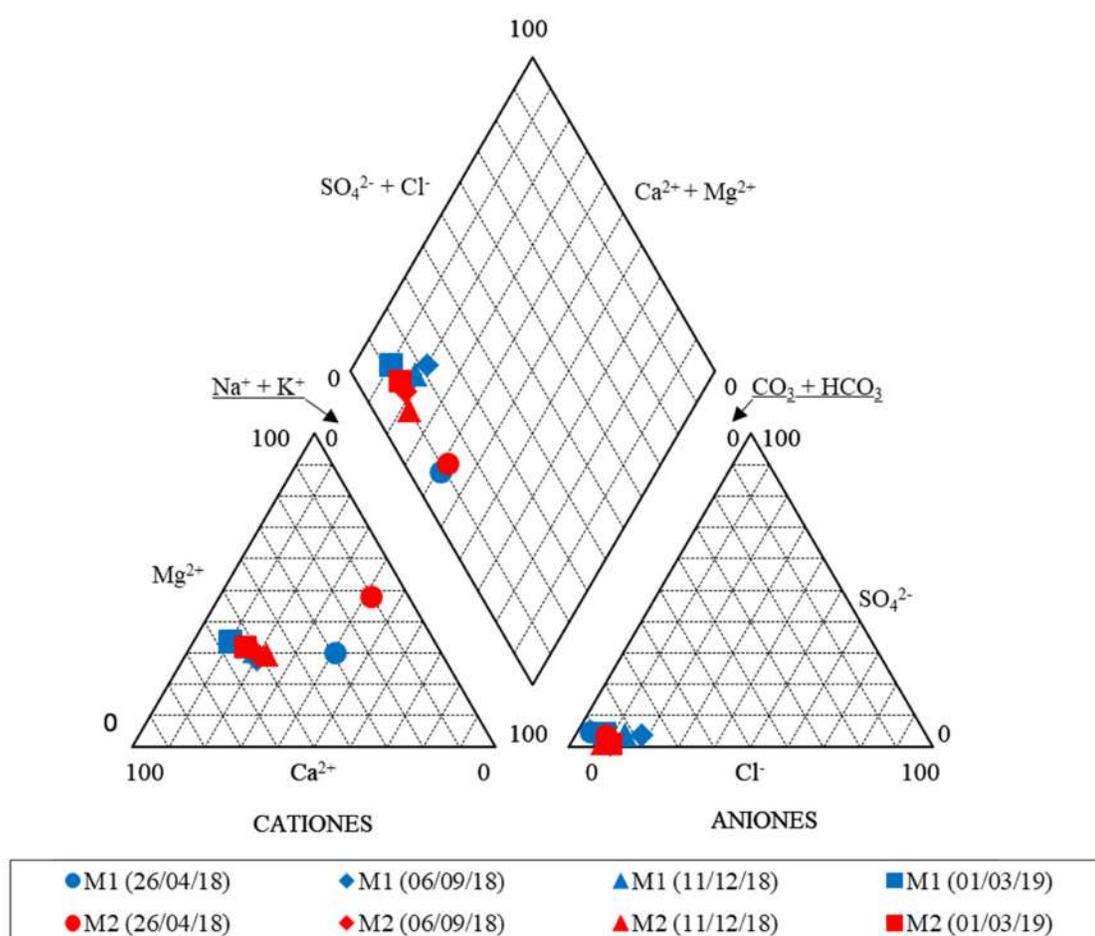


Figura 5.33: Diagrama de Piper correspondiente a M1 (agua subterránea) y M2 (agua superficial) de la zona Meaucó.

Las Tablas 5.12a y b; 5.13a y b; y 5.14 detallan los valores de los puntos de medición de la zona Parque Luro (ver Figura 4.18).

El agua subterránea medida en el sitio S1 presentó similar salinidad en todas las mediciones estacionales (CE y RS), al igual que la observada en el sitio S2. Para los iones mayoritarios se

observa en el caso del cloruro que los valores estacionales de S1 y S2 son similares entre sí, con valores ligeramente superiores de S1 respecto a S2. Los valores estacionales de sulfato fueron similares en cada sitio de medición, aunque mayores en S1 respecto de S2. El calcio, magnesio, potasio, y sodio, presentaron también valores similares sin diferencias apreciables en los valores estacionales. Los iones minoritarios como el flúor o traza como el arsénico, no mostraron en general variaciones estacionales, aunque se observaron mayores valores de flúor en el agua subterránea. El nitrato no tuvo diferencias significativas estacionales en S1 o S2, aunque en S1 se registraron mayores valores que en algunos casos superaron en más de cuatro veces los observados en S2. Sin embargo, el nitrito mostró valores estacionales similares y a su vez parecidos entre los dos sitios de muestro. El amonio no tuvo diferencias apreciables en los dos sitios muestreados. En el caso del hierro, sin diferencia estacional y entre los dos puntos en análisis, se observó en 03/2018 (laboratorio A) en ambos casos (S1 y S2), un valor inferior a 0,1 mg/L. Este valor podría deberse a la determinación realizada en diferentes laboratorios. El manganeso, en general no evidenció una diferencia apreciable en ambos sitios, sin embargo se midió un valor elevado en 06/2019 en S2. En la sílice los valores son semejantes, aunque se destaca un valor tres veces más bajo que la media en 06/2019 en S1.

El fósforo total mostró un menor valor en 03/2018 en ambos sitios, que al igual que en el caso del hierro, puede ser por consecuencia de determinaciones realizadas en diferentes laboratorios. También se da un valor seis veces superior a la media en 03/2019. Los valores de nitrógeno total son similares en ambos puntos de medición y no poseen diferencia estacional significativa. En el caso de organismos coliformes, se verificaron valores positivos en S2 que no se mantuvieron en el tiempo.

Las Tablas 5.13a y b comparan las determinaciones de agua subterránea en el surgente S3 y en S4. La salinidad en todas las mediciones estacionales en S3 no presentó variaciones considerables y es superior en al menos tres veces (CE y RS) a la observada en el sitio S4.

Para los iones mayoritarios de cloruro, sulfato, calcio, magnesio, potasio y sodio no existió una diferencia estacional considerable en ambos sitios de medición, pero sí se observó una diferencia apreciable con una mayor concentración en los parámetros en S3 respecto a S4. En iones minoritarios, el contenido de flúor es justamente opuesto de lo anterior, con mayores valores en S4 respecto de S3, y con poca o casi nula variación estacional. El arsénico mostró valores similares en los dos sitios de medición. Los nitratos se mantuvieron constantes en S3 mientras que en S4 variaron fuertemente, principalmente en 01/2018 cuando se registró un valor de 34 mg/L, mientras que los nitritos, presentan valores habituales a una condición natural en ambos sitios, aunque algo menores en S4. Para el hierro total existió una mayor dispersión en torno a los valores estacionales

de cada sitio, sin ser mayor un lugar respecto al otro. El manganeso mostró también una variación en los valores estacionales siendo en general mayor en S3 que S4, a excepción de dos valores uno en marzo y otro en 12/2018. Los valores de la sílice en general se mantienen en el año en ambos sitios, siendo levemente superior en S4 respecto a S3. El fósforo y nitrógeno total no evidenciaron diferencias mayores entre los dos puntos analizados. Los organismos coliformes muestran presencia menor en S3, sobre todo en época cálida, no teniendo valor de medición en S4.

La Tabla 5.14 ilustra las determinaciones químicas realizadas en la laguna La Salada en el sitio S5. La salinidad medida a través de la CE y el RS se mantiene en valores parecidos en las diferentes estaciones medidas de 2018 y 2019, y presenta un valor superior en dos órdenes de magnitud respecto a los observados en los puntos de medición S1, S2 y S4, mientras que se aproxima (mayor en un orden de magnitud) al valor observado en el surgente S3.

Los iones mayoritarios muestran en general valores estables. El cloruro presentó valores estacionales similares, con cuatro órdenes de magnitud por encima de S1 y S2, tres órdenes con respecto a S4 y un orden encima de S3. El sulfato tuvo también en general valores estacionales similares, con excepción de una marcada diferencia del valor medido en diferente (laboratorio A) en 03/2018. El magnesio no presentó diferencias estacionales significativas, con tres órdenes de magnitud por encima de S1 y S2, dos órdenes respecto a S4 y un orden comparado con S3. El potasio en S5, en general mantuvo los mismos valores estacionales, con una diferencia puntual (laboratorio A), que duplica aproximadamente a los anteriores, con dos órdenes de magnitud superior a S1, S2 y S4, y con un orden respecto a S3. Para el caso del sodio, existió un marcado descenso en 12/2018 a un orden de magnitud por debajo al resto de los valores en S5, y se mantiene en general tres órdenes de magnitud por encima de S1 y S2, dos órdenes si tomamos como referencia S4 y uno respecto a S3. En cuanto a iones minoritarios, el flúor en S5 no mostró una variación estacional apreciable, estando en el mismo orden de magnitud de S1 y S2, con valores inferiores a S4, pero con un orden de magnitud superior a S3. El arsénico no varió apreciablemente en los periodos estacionales medidos, y registró un orden de magnitud superior respecto a S1, S2, S3 y S4. El nitrato en la laguna mostró valores estacionales similares, a excepción del medido por el laboratorio A en 03/2018, y fueron del mismo orden de magnitud al resto de los sitios evaluados, exceptuándose S2 que en general estuvo un orden por debajo del resto. Por el contrario, el nitrito se mantuvo aproximadamente constante en las mediciones estacionales y se asemejó al resto de los puntos de agua subterránea. No se detectó presencia de amonio en la laguna. El hierro se elevó en 08/2018, pero se mantuvo dentro del orden de magnitud del resto de los valores estacionales para la laguna, y en comparación con el resto de los sitios medidos sus valores fueron levemente inferiores. El manganeso en la laguna registró valores estacionalmente variables, con un máximo en 12/2018 de

38,5 mg/L y un mínimo inferior a 0,1 en 03/2018 (laboratorio A), o un mínimo en 02/2019 de 3,9 mg/L (laboratorio B). En comparación con S1 y S2, el valor de manganeso medido en la laguna fue de dos o tres órdenes de magnitud superior, mientras que respecto a S3 y S4 los valores son próximos, e inclusive muy similares con respecto a dos valores de S3. La sílice en general mostró valores estacionales similares, con excepción de 08/2018 que desciende a un nivel no medible. La sílice se destaca por ser el único parámetro que desciende en un orden de magnitud al pasar del agua subterránea a la superficial.

El fósforo y el nitrógeno total se mantuvieron relativamente parecidos a lo largo de las diferentes estaciones de medición, y presentaron también valores similares a los puntos de muestreo del agua subterránea. Respecto a los organismos coliformes, no se detectó su presencia en las mediciones de la laguna.

Tabla 5.12a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo S1 y S2 (agua subterránea) en la zona Parque Luro. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Carbonatos (AC), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Flúor (F⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻).

Punto de muestreo Fecha	S1					S2				
	07/03/18	10/08/18	21/12/18	26/02/19	07/06/19	07/03/18	10/08/18	21/12/18	26/02/19	07/06/19
Laboratorio	A	B	B	B	B	A	B	B	B	B
pH	8,7	8,3	8,3	8,6	8,6	8,6	8,3	8,2	8,6	8,5
CE (µS/cm)	1.270	1.248	1.515	1.540	1.464	920	1.324	1.254	1.260	1.285
RS (105 °C, mg/L)	880	920	1.060	1.078	1.025	692	925	878	880	900
AC (mg/L, CaCO ₃)	92					42,0				
AB (mg/L, CaCO ₃)	366	548	593	603	601	399	552	523	525	530
AT (mg/L, CaCO ₃)	459	548	593	603	601	441	552	523	525	530
DT (mg/L, CaCO ₃)	43	59	53	55	60	27	30	40	40	46
Cl ⁻ (mg/L)	34,7	35,0	44,2	52,2	48,0	18,2	30,0	25,2	21,0	27,0
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	95,0	65,0	95,0	93,0	51,0	62,3	65,0	75,0	77,2	80,0
Ca ²⁺ (mg/L)	9,1	23,6	21,4	22,0	24	5,5	12,0	16,0	16,0	18,4
Mg ²⁺ (mg/L)	5,0	8,5	7,8	8,0	8,7	3,2	4,4	5,9	5,8	6,7
K ⁺ (mg/L)	7,8	3,5	2,0	3,5	3,0	7,8	4,5	4,0	4,0	4,0
Na ⁺ (mg/L)	100,6	228,5	268,0	273,0	252,0	201,0	240,0	222,0	222,0	224,0
F ⁻ (mg/L)		2,1	1,9	<0,1	1,9		1,8	1,5	1,8	1,7
As (mg/L)	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
NO ₃ ⁻ (mg/L)	20,0	29,5	28,3	23,4	37,1	6,0	10,1	7,2	8,1	7,3
NO ₂ ⁻ (mg/L)			0,06	0,06	0,09			0,08	0,03	0,05

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.12b: Valores físico-químicos de los sitios de muestreo S1 y S2 (agua subterránea) en la zona Parque Luro. Amonio (NH₄⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO₂), Fosforo (PO₄²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Coliformes Termotolerante (CT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Escherichia Coli (EC), Pseudomona Aeruginosa (PA).

Punto de muestreo	S1					S2				
	07/03/18	10/08/18	21/12/18	26/02/19	07/06/19	07/03/18	10/08/18	21/12/18	26/02/19	07/06/19
Laboratorio	A	B	B	B	B	A	B	B	B	B
NH ₄ ⁺ (mg/L)	< 0,10	0,08	0,00	0,00	0,00	< 0,10	0,02	0,00	0,00	0,00
Fe (mg/L)	< 0,1	3,7	1,9	10,6	10,8	< 0,1	4,4	8,1	0,6	3,7
Mn (mg/L)	< 0,01	0,13	0,00	0,06	0,08	< 0,01	0,06	0,00	0,06	0,69
SiO ₂ (mg/L)	64,0	72,0	70,5	47,9	53,0	65,0	64,7	77,5	74,4	79,0
Si (mg/L)		33,7	33,0	22,4	24,8		30,2	32,6	34,8	32,9
PO ₄ ²⁻ (mg/L)		36,9	33,1	33,7	9,4		31,2	36,2	28,7	25,0
PT (mg/L)	0,2	11,9	10,6	62,5	3,1	0,2	10,0	11,9	9,4	8,3
NT (mg/L)	5,2	15,0	7,5	13,1	11,2	1,8	13,1	5,6	11,2	7,5
CT 37°C (NMP/100ml)		< 3				2.400	460			
BCT 44°C (NMP/100ml)		< 3	Ausencia			70	43	Ausencia		
BAT 35°C (UFC/ml)		Ausencia				30	4			
OC/100 ml			6x10 ⁵					17.900		20.000
EC/100 ml			Ausencia					Ausencia		Ausencia
PA/100 ml			Presencia					Ausencia		Presencia

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.13a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo S3 y S4 (agua subterránea) en la zona Parque Luro. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Carbonatos (AC), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Flúor (F⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻).

Punto de muestreo Fecha	S3					S4	
	07/03/18	10/08/18	21/12/19	26/02/19	07/06/19	01/09/18	28/12/19
Laboratorio	A	B	B	B	B	B	B
pH	7,6	8,3	8,4	8,6	8,3	8,2	8,3
CE (µS/cm)	11.500	12.870	12.750	13.020	12.580	3.600	4.150
RS (105 °C, mg/L)	8.754	9.160	8.855	9.400	8.236	2.200	2.900
AB (mg/L, CaCO ₃)	252	392	411	603	399	268	280
AT (mg/L, CaCO ₃)	252	392	411	603	399	268	280
DT (mg/L, CaCO ₃)	1.109	1.634	1.462	1.203	1.020	480	624
Cl ⁻ (mg/L)	1.775,0	2.418,0	1.948,0	2.170,0	1.800,0	352,7	852,4
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	4.115,1	3.200,0	3.600,0	3.500,0	3.300,0	840,0	800,0
Ca ²⁺ (mg/L)	273,0	654,1	585,4	481,6	408,4	192,0	249,8
Mg ²⁺ (mg/L)	102,4	238,0	213,0	175,3	148,6	70,0	90,9
K ⁺ (mg/L)	45,2	25,0	25,0	27,5	24,5	4,0	4,0
Na ⁺ (mg/L)	2.323,0	2.207,0	2.059,0	2.440,0	2.140,0	382,0	597,0
F ⁻ (mg/L)		0,6	0,6	0,6	0,6	3,5	3,2
As (mg/L,)	0,05	0,1	0,09	0,09	0,08	0,01	0,08
NO ₃ ⁻ (mg/L)	17,00	29,7	14,4	15,3	15,6	3,1	34,0
NO ₂ ⁻ (mg/L)			0,06	0,89	0,91	0,02	0,04

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.13b: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo S3 y S4 (agua subterránea) en la zona Parque Luro. Amonio (NH_4^+), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO_2), Fosforo (PO_4^{2-}), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Coliformes Termotolerante (CT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Escherichia Coli (EC), Pseudomona Aeruginosa (PA).

Punto de muestreo	S3					S4	
	07/03/18	10/08/18	21/12/18	26/02/19	07/06/19	01/09/18	28/12/19
Laboratorio	A	B	B	B	B	B	B
NH_4^+ (mg/L)	< 0,10	0,11	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
Fe (mg/L)	< 0,1	1,9	9,4	0,6	0,7	10,0	3,1
Mn (mg/L)	0,42	9,00	1,13	30,81	30,94	4,13	1,31
SiO_2 (mg/L)	54,0	55,6	58,9	56,3	59,0	62,1	75,1
Si (mg/L)		26,0	27,5	26,3	24,6	29,0	35,1
PO_4^{2-} (mg/L)		31,9	6,2	30,6	31,9		29,4
PT (mg/L)	0,2	10,6	1,9	10,0	10,6	21,2	9,4
NT (mg/L)	5,0	18,7	13,1	13,1	13,3	15,0	7,5
CT 37°C (NMP/100ml)	460	15					
BCT 44°C (NMP/100ml)	240	< 3					
BAT 35°C (UFC/ml)	Ausencia	Ausencia	12.000		Ausencia		
OC/100 ml			13.800		3.800		
EC/100 ml			Presencia		Ausencia		

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.14: Valores fisicoquímicos del sitio de muestreo S5 en la laguna La Salada. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Flúor (F⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻), Amonio (NH₄⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO₂), Fosforo (PO₄²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Coliformes Termotolerante (CT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Escherichia Coli (EC).

Punto de muestreo	S5				
Fecha	07/03/18	10/08/18	21/12/18	26/02/19	07/06/19
Laboratorio	A	B	B	B	B
pH	8,6	8,3	8,1	8,2	8,3
CE (µS/cm)	172.000	128.500	136.600	160.200	163.000
RS (105 °C, mg/L)	117.238	90.500	88.850	103.143	105.215
AB (mg/L, CaCO ₃)	189	436	804	907	923
AT (mg/L, CaCO ₃)	295	436	804	907	923
DT (mg/L, CaCO ₃)	6.307	11.717	13.592	14.100	14.300
Cl ⁻ (mg/L)	51.033	44.756	51.355	59.618	60.300
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	26.341	5.500	3.700	4.100	4.200
Ca ²⁺ (mg/L)	409	4.691	5.442	5.646	5.726
Mg ²⁺ (mg/L)	1.268	1.708	1.980	2.054	1.176
K ⁺ (mg/L)	780	370	410	453	455
Na ⁺ (mg/L)	44.275	23.005	2.059	30.347	32.415
F ⁻ (mg/L)		2,28	2,64	2,40	2,55
As (mg/L)	<0,10	0,19	0,19	0,19	0,19
NO ₃ ⁻ (mg/L)	4,0	28,8	12,1	17,6	18,9
NO ₂ ⁻ (mg/L)			0,03	0,03	0,05
NH ₄ ⁺ (mg/L)	< 0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe (mg/L)	< 0,1	6,2	1,9	1,2	1,4
Mn (mg/L)	< 0,10	19,69	38,50	3,90	3,91
SiO ₂ (mg/L)	5,1	< 0,1	2,4	5,1	6,8
Si (mg/L)		< 0,1	1,1	2,4	2,8
PO ₄ ²⁻ (mg/L)		31,9	34,4	21,9	18,1
PT (mg/L)	0,3	10,6	11,2	6,9	6,0
NT (mg/L)	5,0	20,6	31,9	24,4	18,7
CT 37°C (NMP/100ml)	< 3	< 3			
BCT 44°C (NMP/100ml)	< 3	< 3			
BAT 35°C (UFC/ml)	Ausencia	Ausencia	0		Ausencia
OC/100 ml			< 3		< 3
EC/100 ml			Ausencia		Ausencia

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

La Tabla 5.15 ilustra los valores físico-químicos medios para los sitios analizados en la zona Parque Luro. Se observa que las perforaciones S1 y S2 ubicadas al N de la laguna, muestran similares valores y con un menor tenor salino que S4. La perforación S4 ubicada en el sector S y a mayor distancia posee en general mayores valores de los parámetros que las anteriores. A su vez, el surgente S3 presenta una mayor concentración respecto a S4 (con excepción del pH, K^+ , NO_3^- , Fe y SiO_2), indicando que su permanencia es debido a la intercepción de flujos regionales hacia la laguna o con un mayor tiempo de contacto, condiciones que determinan una tipificación clorurada y/o sulfatada sódica. La laguna S5 finalmente, posee los mayores valores de CE, RS, y de los iones cloruro, sulfatos, sodio, magnesio, y manganeso. También aumentan la dureza, y el contenido del ion calcio. Similarmente aumenta el arsénico, pero disminuye el flúor respecto a S4, aunque aumenta respecto a S1 y S2. El hierro total disminuye respecto al observado en todas las perforaciones, como así también la sílice que disminuye notablemente. El fósforo y el nitrógeno total mantienen valores cercanos respecto a la totalidad de puntos evaluados.

En la Figura 5.34 se visualiza que hay una marcada diferenciación en la tipificación del agua subterránea y superficial. Los puntos de agua subterránea S1 y S2, poseen una tipificación bicarbonatada sódica. En contraste, el agua subterránea de los puntos S3 y S4, junto con la laguna S5, son del tipo clorurada y/o sulfatada sódica.

La laguna S5 evidenció un cambio en la tipificación del agua de cloruradas y/o sulfatadas sódicas (08/2108) a sulfatada y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas (12/2018) para luego volver a la condición anterior (02 y 06/2109). Si bien puede ser un efecto multicausal, las P que en 11/2018 totalizaron 96 mm y los eventos de 12/2018 de 52 mm (Tabla 5.8), parecen ser la causa del cambio en el contenido catiónico fundamentalmente. Es importante resaltar, que la laguna de acuerdo a la cota del pelo de agua, cambia el área inundada drásticamente. Así, por encima de 116,1 m s.n.m. se extiende sobre un área mayor y por debajo se reduce a su mínima extensión de carácter permanente. Desde mediados de 2018, la laguna mostró un paulatino desecamiento desde la superficie más extensa y ya en 12/2018 se encontraba en su cuenco de menor superficie. Se observa que las P no cambiaron la tendencia de contracción del área inundada, sin embargo, en 12/2018 sí ejercieron un efecto de dilución y fue cuando menores valores de RS, cloruros y sulfatos fueron registrados. El sodio registró un valor marcadamente inferior, mientras que el calcio y el magnesio registraron valores intermedios entre las observaciones anteriores y posteriores.

La tipificación del agua subterránea entorno a la laguna La Salada indica que el flujo es lento y/o regional. Al N se observa que si bien el agua es bicarbonatada el contenido catiónico de tipo sódica, indicaría una mayor evolución y distanciamiento de las fuentes de recarga, si se considera una evolución hidrogeoquímica basada en el fenómeno de dilución (Auge, 2009).

Tabla 5.15: Promedio de los valores fisicoquímicos en la zona Parque Luro. S1, S2, S3, S4 (agua subterránea), S5 (agua superficial). pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Flúor (F⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻), Amonio (NH₄⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO₂), Fosforo (PO₄²⁻), Fosforo Total(PT), Nitrógeno Total (NT).

Punto de muestreo	S1	S2	S3	S4	S5
pH	8,5	8,5	8,2	8,25	8,3
CE (μS/cm)	1.407	1.209	12.544	3.875	152.060
RS (105 °C, mg/L)	993	855	8.881	2.550	100.989
AB (mg/L, CaCO ₃)	542	506	411	274	652
AT (mg/L, CaCO ₃)	561	514	411	274	673
DT (mg/L, CaCO ₃)	54	37	1.285	552	12.003
Cl ⁻ (mg/L)	43	24	2.022	602	53.412
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	80	72	3.543	820	8.768
Ca ²⁺ (mg/L)	20	14	480	221	4.383
Mg ²⁺ (mg/L)	7,7	5,2	175,5	80,4	1.637,5
K ⁺ (mg/L)	4	5	29	4	494
Na ⁺ (mg/L)	224	222	2.234	489	26.420
F ⁻ (mg/L)	1,90	1,70	0,62	3,40	2,47
As (mg/L)	0,01	0,01	0,08	0,05	0,19
NO ₃ ⁻ (mg/L)	27,7	7,7	18,4	18,5	16,3
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,07	0,05	0,62	0,03	0,04
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,02	0,01	0,04	0,00	0,00
Fe (mg/L)	6,8	4,2	3,2	6,6	2,7
Mn (mg/L)	0,07	0,20	14,46	2,72	16,50
SiO ₂ (mg/L)	61,5	72,1	56,8	68,6	4,8
Si (mg/L)	28,5	32,6	26,1	32,0	2,1
PO ₄ ²⁻ (mg/L)	28,3	30,3	25,2	29,4	26,6
PT (mg/L)	17,7	7,9	6,7	15,3	7,0
NT (mg/L)	10,4	7,9	12,7	11,2	20,1

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

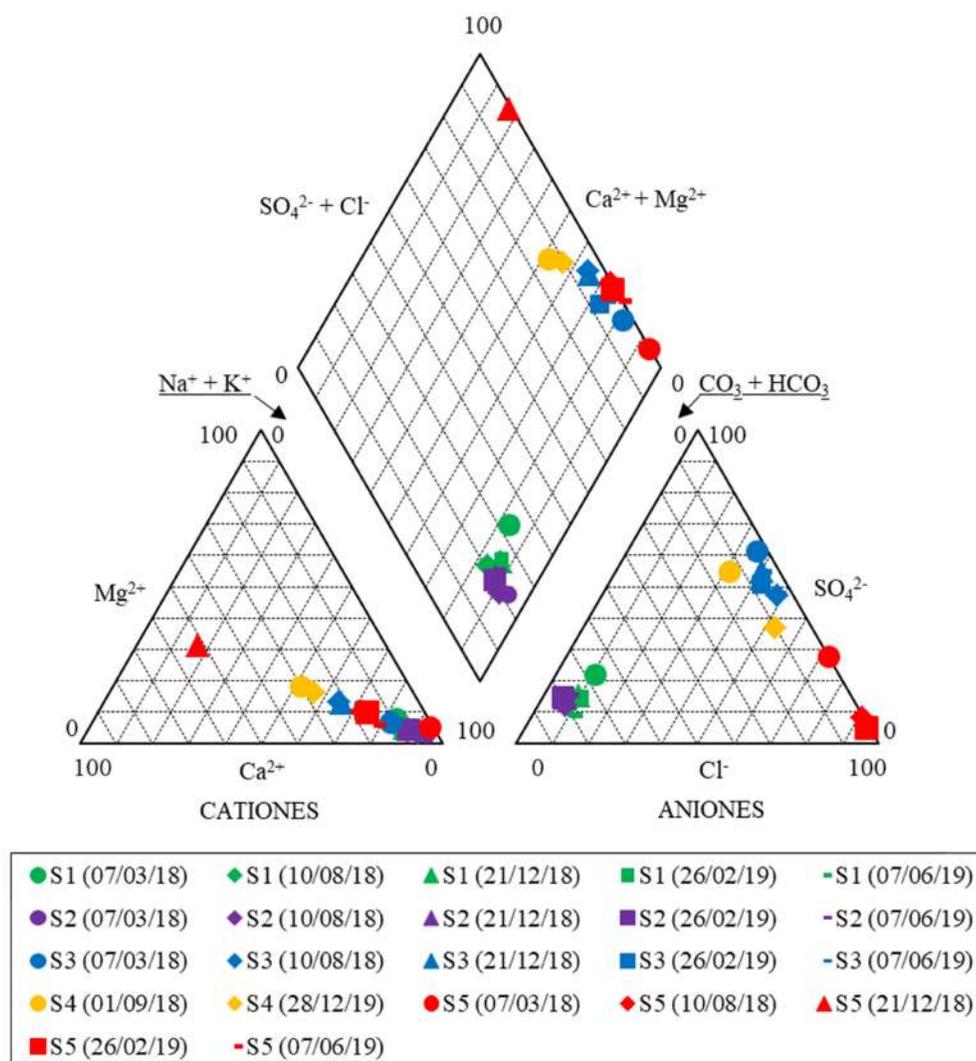


Figura 5.34: Diagrama de Piper correspondiente a S1, S2, S3, y S4 (agua subterránea) y S5 (agua superficial) de la zona Parque Luro.

A continuación, se exponen en las Tablas 5.16a y 5.18b las determinaciones químicas correspondientes a los puntos de medición de la zona Utracán (ver Figura 4.19). Las Tablas se dispusieron de manera que los puntos de muestreo estén en el sentido de flujo de la meseta (U3 y U7), seguido con el flujo del cordón medanoso (U2 y U4), y por último el surgente (U5) con el lugar de medición en la laguna de Utracán (U6).

Los valores estacionales de CE y RS se mantienen similares en U3 evidenciando la reducida dinámica del agua subterránea en dichos ambientes, mientras que en el punto U7 dichos parámetros duplican a los observados en U3.

El cloruro disminuyó a menos de la mitad en U3 a partir de 11/2018, respecto a los valores anteriores. En U7 lo valores son menos variables pero notablemente superiores a los observados en U3. Similarmente, el sulfato en U3 se mantuvo con poca variación estacional, y se incrementó a más del doble en U7. El calcio en U3 mostró valores similares, a excepción del valor medido en

04/2018 (laboratorio A), que es menor a la mitad de los anteriores. En U7 el calcio se incrementó en más del doble respecto a U3. El magnesio se mantuvo con poca variación en los valores estacionales, con excepción del valor determinado en 04/2018 (laboratorio A). Similar patrón mostró el potasio en U3, a excepción del valor medido en 04/2018 que es más del doble de los restantes. El mismo parámetro en U7 se mantuvo en valores similares a los de U3. El sodio en U3 registró valores estacionales variables, disminuyendo de un máximo de 260 mg/L en 04/2018, hasta un mínimo de 93,9 mg/L en 03/2019. En U7 el valor medio de sodio se mantuvo en 483,5 mg/L. El ion flúor registró similares valores estacionales en U3 y U7, y entre ellos. El arsénico registró valores estacionales levemente variables en U3, y ligeramente superiores a U7. El nitrato mostró valores estacionales similares en U3 y que duplicaron a los registrados en U7. Para el nitrito se registraron valores habituales para aguas naturales en U3 y U7, y muy próximos entre los mismos. El hierro en U3 mostró valores estacionales próximos y parecidos a U7. El manganeso tuvo valores similares en U3 y se duplicó en U7. La sílice fue similar en los valores medidos para U3 y U7.

El fósforo y nitrógeno total se mantuvieron en valores similares para U3 y U7. No se detectó *Escherichia coli* en U3, pero sí se detectó *Pseudomonas aeruginosa*.

Con respecto a las determinaciones químicas de muestras en el área de médano (Tablas 5.17a y b), se visualiza que los valores de salinidad en los diferentes muestreos se mantuvieron aproximadamente similares en U2 y U4, aunque U4 posee más del doble de salinidad registrada respecto a U2.

Los iones cloruro y sulfato registraron los mismos órdenes de magnitud, con valores estacionales próximos en U2 y U4, aunque de la comparación entre ambos, surge que U4 posee un orden de magnitud superior al registrado en U2. El calcio en U2 se mantiene con valores estacionales similares, mientras que en U4 se observaron marcadas diferencias. En 02 y 08/2018 se registraron valores dentro del mismo rango de U2, sin embargo a partir de 12/2018 los valores triplicaron los medidos en U2. El magnesio en U2 registró valores similares en las diferentes mediciones, mientras que en U4 existió una mayor variabilidad, algunos similares a U2 y otros que duplicaron lo registrado en U2. El potasio mostró valores estacionales similares y entre los dos sitios de medición, con la excepción en 02/2018 cuando duplicó los valores habituales. El sodio en U2 también registró valores estacionales similares, en contraste a la gran variabilidad observada en U4, con un mínimo en 12/2018 de 47,8 mg/L y un máximo en 08/2018 de 366 mg/L. El flúor presentó valores estacionales próximos en cada sitio de medición, aunque levemente superiores en U4. El arsénico mostró menores valores a los observados en U3 y U7, siendo el punto U2 el que presentó valores menores a U4. El nitrato y nitrito para U2 y U4 se mantuvieron en valores estacionales similares, y próximos entre los dos sitios de medición, aunque algo superiores en U2.

El amonio solo se detectó en una oportunidad en ambos sitios con valores similares en U2 en abril de 04/2018 y en U4 en 02/2018. El hierro en general tuvo valores estacionales similares en los dos sitios y entre ambos, pero con un valor atípico máximo en U4 en 08/2018. El manganeso mantuvo valores estacionales similares y entre los dos sitios de medición. La sílice mostró una evolución similar al parámetro anterior.

El fósforo y nitrógeno total mantuvieron valores estacionales similares y aproximadamente iguales entre los sitios U2 y U4. En ambos sitios se detectaron bacterias coliformes y aerobias totales, aunque no se detectó presencia de *Escherichia coli* o *Pseudomonas aeruginosa*.

Las Tablas 5.18a y b contrastan las determinaciones químicas del surgente (U5) con la del agua de la laguna de Utracán (U6). La salinidad en U5, mostró una variación estacional, con valores mínimos en 08/2018 (CE: 2.980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y RS: 1.866 mg/L) y máximos en 1 03/2019 (CE: 4.930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y RS: 3.485 mg/L). En U6, el agua superficial registró una salinidad aproximadamente constante (CE: 73.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y RS: 51.103,5 mg/L sin incluir el valor 12/18), a excepción del valor de 12/2018 que disminuyó a casi la mitad de los valores generales (CE: 41.300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y RS: 27.800 mg/L). La menor salinidad respondería a la importante precipitación de 148,5 mm registrada en 11/2018 (ver Tabla 5.8). Los cloruros en U5 mostraron una importante dispersión, con un valor mínimo de 437,4 mg/L en 06/2018 y un valor máximo de 1.164 mg/L en 03/2019. En U6, la variabilidad de los cloruros fue menor, pero con valores de un orden de magnitud superior a U5. Los sulfatos se mantuvieron en valores estacionales similares en U5, mientras que para U6 los valores descendieron marcadamente en 12/2018, y se estabilizaron en las mediciones subsiguientes, hecho que coincide con las P abundantes del mes de noviembre en la zona Utracán. El calcio en U5 mostró un descenso marcado en 06/2018 atribuible al análisis con el laboratorio A, diferente al resto de las mediciones que en líneas generales se asemejan. En U6 el calcio presentó una evolución similar a U5. En cuanto al magnesio los valores estacionales se mantuvieron cercanos en U5, con un mayor descenso en 06/2018. En U6 el magnesio mantuvo valores cercanos a U5, a excepción de 08/2018 y 05/2019, que casi duplicaron los valores anteriores. El potasio mostró en U5 valores similares a excepción del medido en 06/2018 por el laboratorio A. En U6 se observa una similar evolución temporal aunque con un máximo en 02/2018 con el laboratorio A. El potasio en U6 disminuyó a un cuarto respecto al resto de los valores estacionales en 12/2018 en concordancia con la disminución de la salinidad de la laguna debido a las P de noviembre. El sodio en U5 se mantuvo en valores estacionales similares y en un orden de magnitud inferior de U6. En cuanto a la laguna, el sodio disminuyó aproximadamente a la mitad en 12/2018, mientras que en los restantes valores se mantuvieron relativamente similares. El flúor en U5 disminuyó a menos de la mitad entre 08/2018 (2,02 mg/L) y 03/2019 (0,83 mg/L), mientras que en U6 el cambio fue más marcado entre

08/2018 (1,4 mg/L) y 12/2019 (<0,1 mg/L). El arsénico en U5 descendió entre 08/2018 (0,11 mg/L) y 03/2019 (0,01 mg/L). En U6 el descenso se produjo en 08/2018, llegando a un valor de la mitad del anterior. El nitrato en U5 presentó valores estacionales similares, aunque con un leve descenso de 08/2018 a 03/2019. En U6 los valores son notablemente superiores y muestran una evolución temporal creciente, con valores que indican una fuerte contaminación orgánica (> 144 mg/L). Los valores de nitrito en U5 y U6 presentaron valores similares. El amonio fue similar en U5, con excepción de la medición de 08/2018, mientras que para U6 desciende de 3 mg/L en 02/2018 a 0,05 mg/L en 08/2018 y luego vuelve a subir a 0,22 mg/L en 03/2019 (con menor P). El hierro en U5 mostró un valor atípico en 06/2018, del laboratorio A (< 0,1 mg/L), con una disminución de un orden de magnitud para 03/2019. En U6 el hierro se mantuvo con valores similares, a excepción del valor 02/2018 determinado por el laboratorio A. El manganeso del surgente, en general, es similar en los valores estacionales a excepción del 06/2018 (laboratorio A). En U6, la medición de manganeso mostró un valor atípico para 02/2018 (laboratorio A), con dos valores similares para 08 y 12/2018, y luego aumentando a más de tres veces para 03 y 05/2019 (periodo de menor P). La sílice en U5 mostró valores estacionales similares, mientras que en U6 registró un orden de magnitud inferior 08/2018, con fluctuaciones entre 12/2018 y 03/2019.

El fósforo y el nitrógeno total mostraron valores estacionales similares en U5 y U6, y en entre ellos. En U5 se detectaron organismos coliformes y bacterias aerobias totales, con ausencia de *Escherichia coli* y presencia en una medición de *Pseudomonas aeruginosa*. Mientras que en U6, se detectaron organismos coliformes y bacterias aerobias totales, con presencia de *Escherichia coli* y una medición de *Pseudomonas aeruginosa*.

Al comparar las determinaciones físico-químicas de la laguna con los demás sitios de agua subterránea (Tabla 5.19), se observa una marcada concentración salina en el agua superficial que evidencia el rol efluente de la laguna. En general en el área de planicie al N de la Laguna, los iones mayoritarios y muchos minoritarios al pasar de U3 a U7 aumentan su concentración, a excepción de los minoritarios como el flúor, el arsénico, el amonio, el fósforo, nitrito y nitrato. Por el contrario, en el área de médanos al S de la laguna se observan menores concentraciones en U2 que se ubica en un área de recarga, y que las mismas aumentan en general en U4, punto que constituye un área de descarga. Del surgente U5 a U6 hay un aumento de casi todos los parámetros, fenómeno que evidencia el enriquecimiento en el sentido del flujo subterráneo hacia la laguna.

Tabla 5.16a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U3 y U7 (agua subterránea) en la zona Utracán. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Flúor (F⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻).

Punto de muestreo Fecha	U3				U7	
	04/04/18	16/08/18	30/11/18	21/03/19	01/09/18	30/11/18
Laboratorio	A	B	B	B	B	B
pH	7,7	7,4	7,6	7,7	8,2	8,3
CE (µS/cm)	1.700	1.900	1.788	1.800	4.170	4.010
RS (105 °C, mg/L)	1.174	1.330	1.125	1.100	2.850	2.990
AB (mg/L, CaCO ₃)	188	272	232	235	232	232
AT (mg/L, CaCO ₃)	188	272	232	235	232	232
DT (mg/L, CaCO ₃)	278	383	360	361	736	848
Cl ⁻ (mg/L)	165,1	150,0	57,1	60,0	661,8	860,0
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	432,0	500,0	487,5	465,7	1.060,0	937,5
Ca ²⁺ (mg/L)	74,6	153,3	144,1	143,0	294,7	339,5
Mg ²⁺ (mg/L)	22,0	55,8	52,5	52,7	107,2	123,6
K ⁺ (mg/L)	6,3	1,5	1,5	1,8	2,0	2,0
Na ⁺ (mg/L)	260,0	171,0	105,0	93,9	492,0	475,0
F ⁻ (mg/L)		2,6	2,4	2,5	2,4	2,2
As (mg/L,)	0,03	0,06	0,08	0,08	0,01	0,04
NO ₃ ⁻ (mg/L)	45,0	30,4	42,8	30,5	18,7	22,9
NO ₂ ⁻ (mg/L)			0,10	0,03	0,02	0,06

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.16b: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U3 y U7 (agua subterránea) en la zona Utracán. Amonio (NH₄⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO₂), Fosforo (PO₄²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Escherichia Coli (EC), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Coliformes Termotolerante (CT), Pseudomona Aeruginosa (PA).

Punto de muestreo	U3				U7	
	04/04/18	16/08/18	30/11/18	21/03/19	01/09/18	30/11/18
Laboratorio	A	B	B	B	B	B
NH ₄ ⁺ (mg/L)	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe (mg/L)	> 0,05	1,25	2,50	2,50	3,75	1,88
Mn (mg/L)	> 0,01	1,56	1,88	1,44	5,75	5,63
SiO ₂ (mg/L)	82,0	85,7	62,5	70,4	83,8	77,8
Si (mg/L)		40,0	29,2	32,9	39,2	36,4
PO ₄ ²⁻ (mg/L)		36,1	28,7	53,1		31,2
PT (mg/L)		11,9	9,4	17,5	8,7	10,0
NT (mg/L)		15,0	13,5	11,2	15,0	12,8
BCT 37°C NMP/100ml		400				
EC/100ml		Ausencia		Ausencia		
BAT 35°C (UFC/ml)				> 1200		
OC/100 ml				< 3		
CT 44°C (NMP/100ml)				0		
PA/100 ml		Presencia		Ausencia		

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.17a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U2 y U4 (agua subterránea) en la zona Utracán. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Carbonatos (AC), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Flúor (F⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻).

Punto de muestreo Fecha	U2				U4				
	04/04/18	16/08/18	21/12/18	21/03/19	26/02/18	16/08/18	21/12/18	21/03/19	14/05/19
Laboratorio	A	B	B	B	A	B	B	B	B
pH	7,8	7,4	8,4	7,6	8,3	8,5	8,5	8,4	8,1
CE (µS/cm)	410	620	450	470	1.380	2.440	1.682	1.786	1.715
RS (105 °C, mg/L)	266	430	350	352	892	1.550	1.170	1.250	1.200
AC (mg/L, CaCO ₃)	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0
AB (mg/L, CaCO ₃)	188	254	190	193	384	400	376	372	344
AT (mg/L, CaCO ₃)	188	254	190	193	329	400	376	372	344
DT (mg/L, CaCO ₃)	169	190	146	130	196	222	492	480	404
Cl ⁻ (mg/L)	9,9	15,0	43,6	23,0	132,1	425,7	257,7	318,4	255,3
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	6,8	10,0	11,0	10,0	179,6	210,0	215,0	200,0	250,0
Ca ²⁺ (mg/L)	38,2	76,0	58,5	52,0	41,0	89,0	197,0	192,2	161,7
Mg ²⁺ (mg/L)	17,5	27,7	21,4	19,0	22,4	32,3	71,7	69,9	58,9
K ⁺ (mg/L)	8,3	4,8	5,2	5,0	19,5	4,0	7,6	7,5	8,0
Na ⁺ (mg/L)	30,0	32,0	13,3	47,0	212,8	366,0	47,8	86,0	116,0
F ⁻ (mg/L)		0,6	0,5	0,3		1,0	0,4	0,7	0,5
As (mg/L)	> 0,01	0,03	0,00	0,00	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06
NO ₃ ⁻ (mg/L)	23,0	12,4	7,8	6,7	5,0	8,1	4,5	4,2	5,5
NO ₂ ⁻ (mg/L)			0,03	0,04			0,04	0,04	0,02

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.17b: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U2 y U4 (agua subterránea) en la zona Utracán. Amonio (NH₄⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO₂), Fosforo (PO₄²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Escherichia Coli (EC), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Pseudomona Aeruginosa (PA).

Punto de muestreo	U2				U4				
	04/04/18	16/08/18	21/12/18	21/03/19	26/02/18	16/08/18	21/12/18	21/03/19	14/05/19
Laboratorio	A	B	B	B	A	B	B	B	B
NH ₄ ⁺ (mg/L)	1,40	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe (mg/L)	> 0,05	1,25	2,50	1,25	< 0,10	13,75	1,25	1,88	2,50
Mn (mg/L)	> 0,01	1,06	0,06	0,81	< 0,01	0,94	0,19	1,00	1,19
SiO ₂ (mg/L)	62,2	48,2	65,3	56,4	74,0	54,2	42,3	53,3	55,0
Si (mg/L)		22,5	30,5	26,3		25,3	19,8	24,9	25,7
PO ₄ ²⁻ (mg/L)		29,4	34,5	27,5		31,2	42,3	25,6	23,7
PT (mg/L)		9,4	11,2	8,7		10,0	19,8	8,1	7,9
NT (mg/L)		24,4	15,0	11,2		13,1	16,9	7,5	5,6
BCT 37°C (NMP/100ml)		184.000				20.000			
EC 44°C (NMP/100ml)		Ausencia	Ausencia	Ausencia		Ausencia	Ausencia	Ausencia	
BAT 35° C (UFC/ml)			108	> 1200			356	> 1200	
OC/100 ml			6.000	> 2,2 x 10 ⁶			66.000	3.000	
PA/100 ml		Ausencia	Ausencia	Ausencia		Ausencia	Ausencia	Ausencia	

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.18a: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U5 (agua subterránea) y U6 (agua superficial) en la zona Utracán. pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Carbonatos (AC), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Flúor (F⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻).

Punto de muestreo Fecha	U5				U6				
	08/06/18	16/08/18	21/03/19	14/05/19	26/02/18	16/08/18	21/12/18	21/03/19	14/05/19
Laboratorio	A	B	B	B	A	B	B	B	B
pH	8,1	8,1	8,7	8,5	9,5	9,6	9,7	7,3	7,3
CE (µS/cm)	2.980	3.450	4.930	3.400	75.900	66.500	41.300	76.000	76.000
RS (105 °C, mg/L)	1.866	2.470	3.485	2.490	53.234	46.500	27.800	52.340	52.340
AC (mg/L, CaCO ₃)	0	0	232	0	7.196	4.056	2.330	0	8.872
AB (mg/L, CaCO ₃)	297	344	16	292	2.254	5.016	2.016	13.968	14.921
AT (mg/L, CaCO ₃)	297	344	248	292	9.450	9.072	4.346	13.968	23.793
DT (mg/L, CaCO ₃)	240	340	490	360	200	710	315	600	730
Cl ⁻ (mg/L)	437,4	772,7	1.164,0	670,0	10.650,0	8.442,3	9.092,3	16.960,0	12.937,5
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	634,7	520,0	880,0	700,0	15.631,5	13.500,0	4.375,0	3.300,0	3.300,0
Ca ²⁺ (mg/L)	45,5	136,2	196,2	144,1	12,7	284,3	126,1	240,2	292,3
Mg ²⁺ (mg/L)	30,1	49,5	71,4	52,4	40,4	103,4	45,9	87,4	106,3
K ⁺ (mg/L)	39,0	2,0	9,5	7,2	3.363,8	460,0	100,0	440,0	457,0
Na ⁺ (mg/L)	529,0	636	908	616	19.734	14.584,5	9.350	17.196,5	18.180,0
F ⁻ (mg/L)		2,02	0,83	0,75		1,4	<0,10	<0,10	<0,10
As (mg/L)	0,59	0,11	0,01	0,01	5,2	1,59	1,45	2,41	3,03
NO ₃ ⁻ (mg/L)	10,6	13,1	8,1	9,7	3	44,3	31,7	147,7	135,8
NO ₂ ⁻ (mg/L)			0,14	0,11			0,22	0,19	0,2

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.18b: Valores fisicoquímicos de los sitios de muestreo U5 (agua subterránea) y U6 (agua superficial) en la zona Utracán. Amonio (NH₄⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO₂), Fosforo (PO₄²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Bacterias Coliformes Totales (BCT), Coliformes Termotolerante (CT), Escherichia Coli (EC), Bacterias Aerobias Totales (BAT), Organismos Coliformes (OC), Pseudomona Aeruginosa (PA).

Punto de muestreo	U5				U6				
	08/06/18	16/08/18	21/03/19	14/05/19	26/02/18	16/08/18	21/12/18	21/03/19	14/05/19
Laboratorio	A	B	B	B	A	B	B	B	B
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,16	0,00	0,21	0,18	3,00	0,05	0,03	0,22	0,30
Fe (mg/L)	< 0,10	4,38	0,63	1,25	< 1,00	2,50	1,88	1,25	1,88
Mn (mg/L)	< 0,10	1,50	1,81	1,88	< 0,02	4,81	3,50	11,31	12,06
SiO ₂ (mg/L)	68,0	51,7	59,1	62,1	21,0	4,1	< 0,8	30,6	30,6
Si (mg/L)		24,2	27,6	29,0		1,9	< 0,3	14,3	14,3
PO ₄ ²⁻ (mg/L)		32,5	30,0	24,4		48,1	46,9	50,0	49,4
PT (mg/L)	0,3	10,6	10,0	8,1	8,1	15,6	15,6	16,2	16,5
NT (mg/L)		39,4	11,2	7,5	11,0	22,5	22,5	31,9	35,6
BCT 37°C (NMP/100ml)	< 3	< 3			< 3	500			
CT 44°C (NMP/100ml)	< 3	0	0	0	Ausencia	0	200	0	0
EC 44°C (NMP/100ml)	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	200	Ausencia	Ausencia
BAT 35° C (UFC/ml)			> 1200	25			> 1.200	> 1.200	> 1.200
OC/100 ml			24x10 ⁵	400			900	3.700	1.200
PA/100 ml		Ausencia	Ausencia	Presencia		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Presencia

A - Análisis realizado por laboratorio integral ESAGRO

B - Análisis realizado por laboratorio integral "La Pampa Agrícola"

Tabla 5.19: Promedio de los valores fisicoquímicos en la zona Utracán. U2, U3, U4, U5 y U7 (agua subterránea), U6 (agua superficial). pH, Conductividad Eléctrica (CE), Residuo Seco (RS), Alcalinidad de Bicarbonatos (AB), Alcalinidad Total (AT), Dureza Total (DT), Cloruro (Cl⁻), Sulfato (SO₄²⁻), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Potasio (K⁺), Sodio (Na⁺), Flúor (F⁻), Arsénico (As), Nitrato (NO₃⁻), Nitrito (NO₂⁻), Amonio (NH₄⁺), Hierro Total (Fe), Manganeseo (Mn), Sílice (SiO₂), Fosforo (PO₄²⁻), Fosforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT).

Punto de muestreo	U3	U7	U2	U4	U5	U6
pH	7,6	8,2	7,8	8,4	8,3	8,7
CE (μS/cm)	1.797	4.090	487	1.801	3.411	62.607
RS (105 °C, mg/L)	1.182	2.920	349	1.212	2.856	50.976
AB (mg/L, CaCO ₃)	232	232	206	375	237	7.635
AT (mg/L, CaCO ₃)	232	232	206	364	295	12.126
DT (mg/L, CaCO ₃)	345	792	158	358	357	511
Cl ⁻ (mg/L)	108,1	760,9	22,9	277,8	761,0	11.616,4
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	471,3	998,7	9,4	210,9	683,7	8.021,3
Ca ²⁺ (mg/L)	128,7	317,1	56,2	136,2	130,5	191,1
Mg ²⁺ (mg/L)	45,7	115,4	21,4	51,0	50,8	76,7
K ⁺ (mg/L)	2,8	2,0	5,8	9,3	14,4	964,2
Na ⁺ (mg/L)	157,5	483,5	30,6	165,7	672,2	15.809,0
F ⁻ (mg/L)	2,5	2,3	0,5	0,6	1,2	1,4
As (mg/L)	0,06	0,03	0,01	0,05	0,18	2,74
NO ₃ ⁻ (mg/L)	37,2	20,8	12,5	5,5	10,4	72,5
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,07	0,04	0,03	0,03	0,12	0,21
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,65	0,00	0,35	0,36	0,14	0,72
Fe (mg/L)	2,1	2,8	1,7	4,8	2,1	1,9
Mn (mg/L)	1,6	5,7	0,6	0,8	1,7	7,9
SiO ₂ (mg/L)	75,1	80,8	58,0	55,8	60,2	21,6
Si (mg/L)	34,0	37,8	26,4	23,9	26,9	10,2
PO ₄ ²⁻	39,3	31,2	30,5	30,7	29,0	48,6
PT (mg/L)	12,9	9,4	9,8	11,5	7,3	14,4
NT (mg/L)	13,2	13,9	16,9	10,8	19,4	24,7

En la zona Utracán existen tres tipos de agua. El agua subterránea en los puntos más alejados de la laguna en el ambiente de planicie U3 y U7, muestra una tipificación sulfatada y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas al igual que tres determinaciones del punto U4 ubicado en cercanías de la laguna. El agua subterránea en el punto U2, ubicado en el cordón medanoso próximo a la descarga, se diferencia claramente de los anteriores y posee una tipificación bicarbonatada cálcicas y/o magnésicas. Por último, el agua subterránea entorno a la laguna (dos determinaciones de U4 y U5) y la laguna de Utracán (U6), poseen un tipo de agua cloruradas y/o sulfatadas sódicas.

Si se considera la evolución geoquímica del agua, los puntos U3 y U7 ubicados en ambientes de planicie, corresponden a una zona de conducción del flujo subterráneo, el punto U2 en

el cordón medanoso corresponde a la fase inicial o de recarga, y la laguna presenta una tipificación coincidente a una zona de descarga.

En U4, ubicado en un área de descarga del sector medanoso a solo 60 m del borde de la laguna, se observó un cambio en la tipificación relacionado con las P y con la condición hidrológica de la laguna. En respuesta a lluvias abundantes anteriores a los muestreos (12/2018: 148,5 mm, 03/2019: 82 mm, 05/2019: 99 mm), se verificó una disminución de la salinidad y del sodio en particular, y un aumento de la cota del pelo de agua en la laguna. Esto se correspondió con una tipificación sulfatada y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas. En periodos más secos, que resultaron en menores cotas del pelo de agua en la laguna (02 y 06/2018), el punto U4 adquirió la misma tipificación que la laguna de cloruradas y/o sulfatadas sódicas. Esta característica representa condiciones de descarga y la dominancia de procesos evaporativos en la laguna.

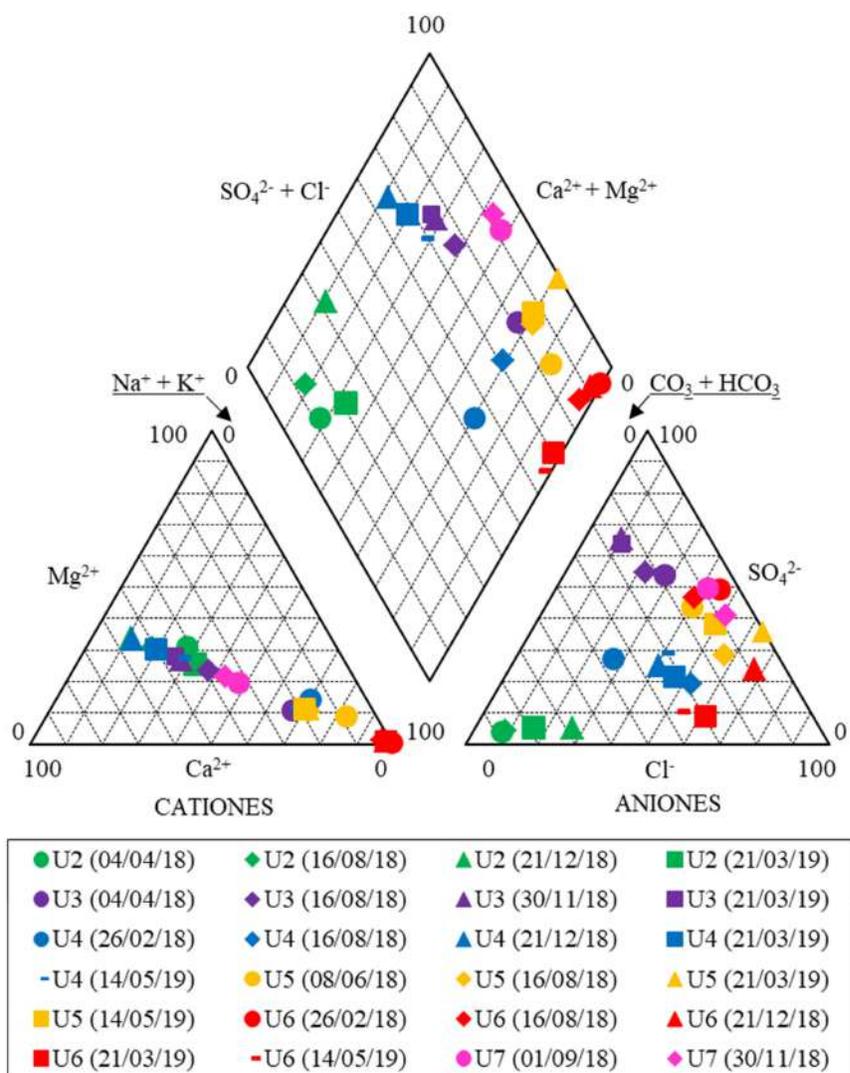


Figura 5.35: Diagrama de Piper correspondiente a U2, U3, U4, U5, y U7 (agua subterránea) y U6 (agua superficial) de la zona Utracán.

Al comparar el tenor salino y el contenido iónico de las tres lagunas, se observa que la laguna del Meaucó (M2) es la que menor contenido salino posee. Esta característica, resulta además, en diferentes tipos de agua respecto de las otras lagunas analizadas. Las aguas de la laguna M2 son del tipo bicarbonatadas cálcicas y/o sódicas al igual que el agua subterránea que la alimenta. Se corresponden con áreas típicas de recarga, e indica tiempos cortos de escurrimientos subterráneo hacia la laguna.

Por el contrario, las lagunas La Salada (S5) y Utracán (U6) presentan un tipo de agua clorurada y/o sulfatada sódica. En la laguna S5, se evidencia que el aporte subterráneo a la misma es proveniente de flujos regionales con mayores tiempos de tránsito, y como resultado es la laguna con mayor tenor salino, y una caracterización que se corresponde con tipos de aguas ubicadas al final de la evolución geoquímica y sujetas a la dominancia de procesos evaporativos. Por último en U6, a pesar de que una parte de su alimentación proviene de la descarga freática relativamente diluida debido a sus cortos tiempos de tránsito en la zona de médanos, tiene también una alimentación del sector de meseta con menores gradientes hidráulicos y mayores tiempos de escurrimiento, lo que determina que la tipificación sea clorurada y/o sulfatada sódica. Se evidencia también la incidencia de procesos evaporativos en el contenido salido de la laguna.

5.4. ANÁLISIS ISOTÓPICO

En las tres zonas de estudio, se colectaron muestras de agua superficial y subterránea para la determinación de isótopos estables de molécula de agua ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ y $\delta^2\text{H}\text{‰}$), cuyos valores se indican en la Tabla 5.20 conjuntamente con la CE. Además, existen para el área de estudio muestreos históricos de isótopos en agua de lluvia en Padre Buodo (Lat: 37° 19' 12" S Long: 64° 19' 48" O) y Santa Rosa (Lat: 36° 37' 12" S Long: 64° 17' 24" O) publicados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, www.iaea.org, 2021). Al graficar las determinaciones de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ y $\delta^2\text{H}\text{‰}$ de ambas estaciones junto a la recta meteórica mundial se obtiene la Figura 5.36. En la misma, puede observarse que las dos rectas obtenidas de los datos de P locales de Padre Buodo y Santa Rosa, se asemejan a la recta meteórica mundial. Las pendientes de las tres rectas son similares, evidenciándose una mayor diferencia en la ordenada al origen. Se observa que la recta meteórica global se ubica entre las dos rectas locales y por ello se adopta la misma para comparar los valores isotópicos obtenidos en los sitios de muestreo.

Tabla 5.20: Conductividad Eléctrica (CE) e Isótopos estables de molécula de agua ($\delta^{18}\text{O}\%$ y $\delta^2\text{H}\%$), de los sitios muestreados. Valores determinados por el laboratorio GEA, Instituto de Matemática Aplicada San Luis UNSL – CONICET. Lugar de la muestra, agua superficial (Sp), agua subterránea (Sb).

Fecha	Punto	Lugar	CE	Isótopos estables de la molécula de agua	
			mS/cm	$\delta^{18}\text{O}\%$	$\delta^2\text{H}\%$
10/06/2018	M1	Sb	0,53	-5,20	-34,59
10/06/2018	M2	Sp	0,85	4,35	13,85
10/06/2018	S1	Sb	1,27	-4,31	-27,49
10/06/2018	S2	Sb	0,92	-4,60	-28,65
10/06/2018	S3	Sb	11,50	-4,89	-36,77
19/09/2018	S4	Sb	3,12	-4,65	-32,43
10/06/2018	S5	Sp	172.000,00	4,60	10,92
10/06/2018	U1	Sb	0,97	-4,79	-30,94
10/06/2018	U2	Sb	0,41	-4,27	-28,37
10/06/2018	U3	Sb	1,70	-4,71	-31,94
10/06/2018	U4	Sb	1,38	-4,03	-27,12
08/06/2018	U5	Sb	3,45	-4,30	-26,44
10/06/2018	U6	Sp	75.900,00	4,95	20,65
19/09/2018	U7	Sb	4,08	-4,61	-34,28

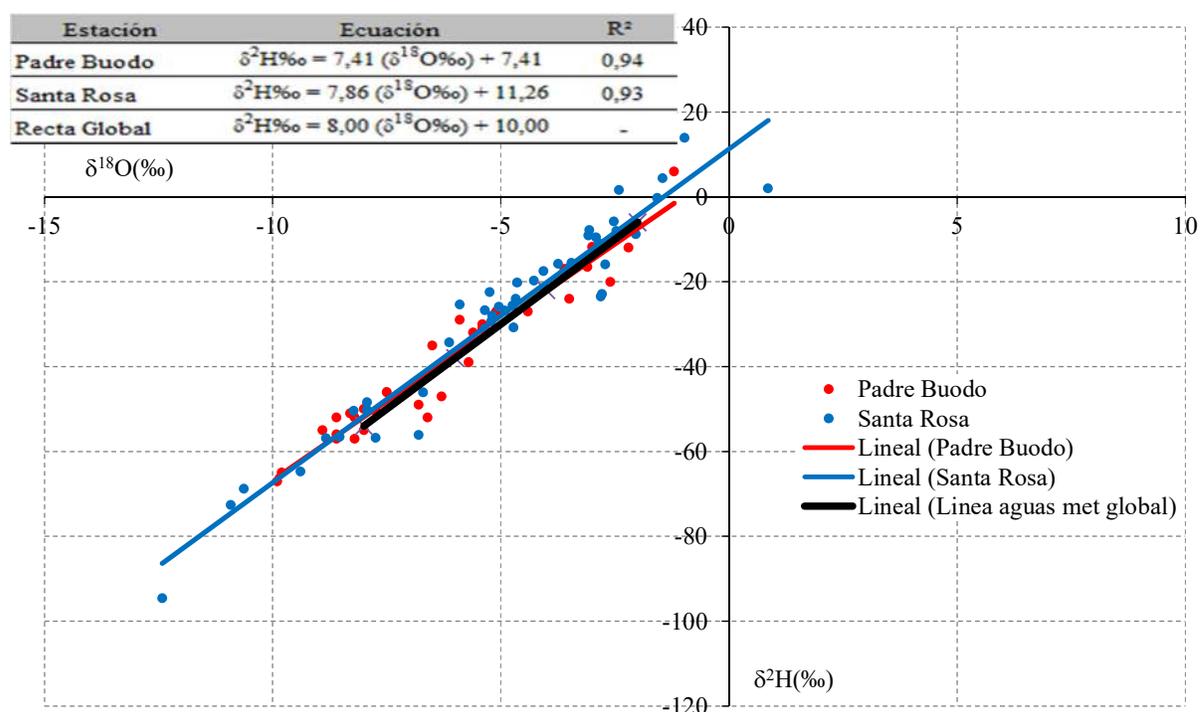


Figura 5.36: Valores de isótopos de la molécula estable de agua ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ y $\delta^2\text{H}\text{‰}$), de las precipitaciones en Padre y Santa Rosa de la OIEA (www.iaea.org, 2021). Líneas meteóricas locales obtenidas de los puntos de Padre Buodo (rojo) y Santa Rosa (azul). Recta meteórica global (negro).

En la Figura 5.37 se grafican para los sitios de muestreo el contenido isotópico de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ y $\delta^2\text{H}\text{‰}$, junto a la recta meteórica global. Se observa que las tres lagunas analizadas (M2, S5 y U6) se diferencian marcadamente del resto de las muestras de agua subterránea por presentar un evidente enriquecimiento isotópico. Las determinaciones isotópicas del agua subterránea se encuentran en cambio, agrupadas en un rango entre $-5,2\text{‰}$ y -4‰ para $\delta^{18}\text{O}$ y entre -26‰ y -36‰ para $\delta^2\text{H}$. Se observa así, que el contenido isotópico del agua subterránea posee poca dispersión y es consistente con la recarga a partir de precipitaciones, dado que no se diferencian marcadamente de las del agua meteórica. Esto evidencia el fenómeno de un rápido ingreso del agua por percolación en los primeros horizontes de los suelos analizados. En aquellos sitios con NF más profundos correspondientes a ambientes de planicie (U7), o en la descarga del surgente (S3), se observan en cambio valores ligeramente más empobrecidos ($\delta^{18}\text{O} = -4,75\text{‰}$ y $\delta^2\text{H} = -36\text{‰}$) posiblemente afectados por procesos evaporativos, por un mayor tiempo de tránsito o por mezcla de aguas. En relación a lo descripto, entre las muestras de agua subterránea relacionadas con la recarga meteórica y las muestras de agua superficial, es posible plantear una recta evaporativa del tipo: $\delta^2\text{H}\text{‰} = 5,4 (\delta^{18}\text{O}\text{‰}) - 9,89$.

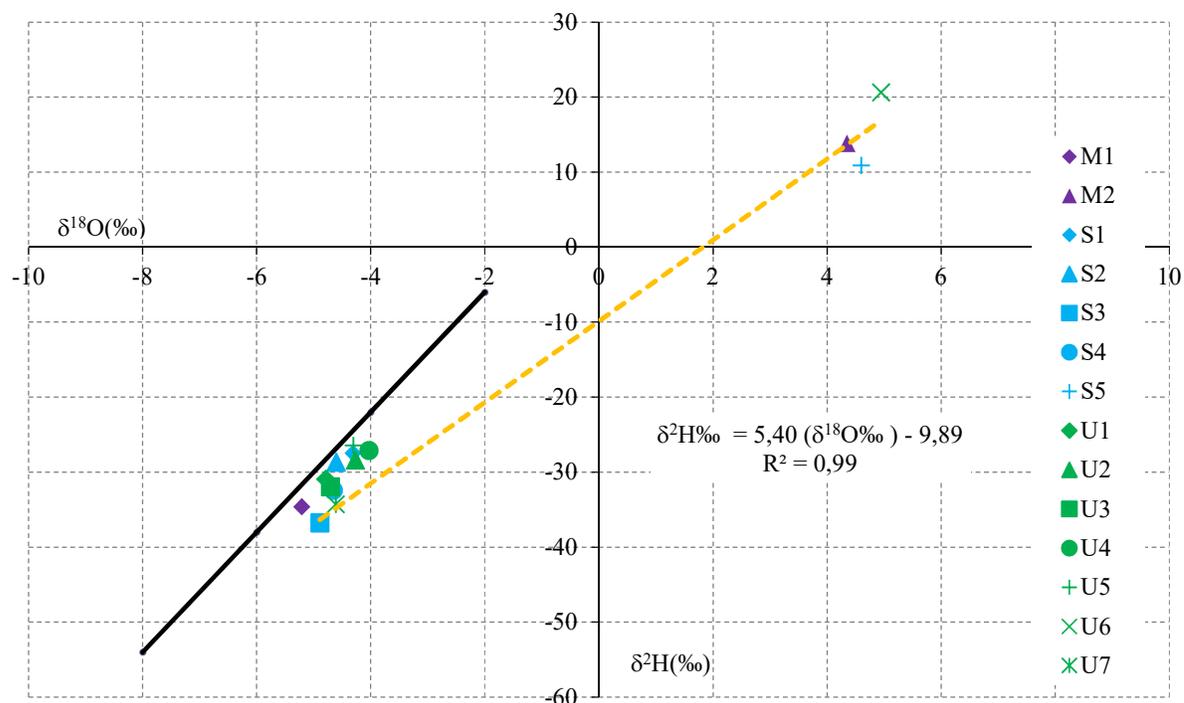


Figura 5.37: Composición isotópica ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ y $\delta^2\text{H}\text{‰}$), de los sitios de agua superficial y subterráneos muestreados. Zona Meaucó (violeta), zona Parque Luro (celestes) y zona Utracán (verde). Se indica la recta meteórica global (negro) y el ajuste de una recta de evaporación (amarillo).

En la Figura 5.38 se muestran los valores de CE respecto de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ de las muestras de aguas subterránea analizadas. A los efectos de mejor visualización y posibilidad de diferenciación no se incluyeron las muestras de las lagunas. Los diferentes puntos para valores relativamente similares de $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$, se ordenan en el sentido vertical según el contenido de CE, condición que indicaría que el aumento de la salinidad es debido preponderantemente a la disolución de sales en tránsito más que a la evaporación previa a la infiltración o la mezcla de aguas, con una leve excepción en U4. Los pozos con mayor CE son U7 (zona de tránsito en planicie Utracán), U5 (surgente Utracán), S4 (zona de tránsito planicie Parque Luro) y S3 (surgente La Salada). Sin embargo, su contenido isotópico es similar y no evidencia el efecto de mezcla de aguas. Por el contrario, M1 más empobrecido y U2 que están en zona de recarga medanosa, son los de menor CE. En cambio el punto U4 ubicado en el área de descarga y muy próximo a la laguna, presenta un contenido algo más enriquecido, que podría ser consecuencia del efecto de procesos evaporativos o alguna mezcla de agua.

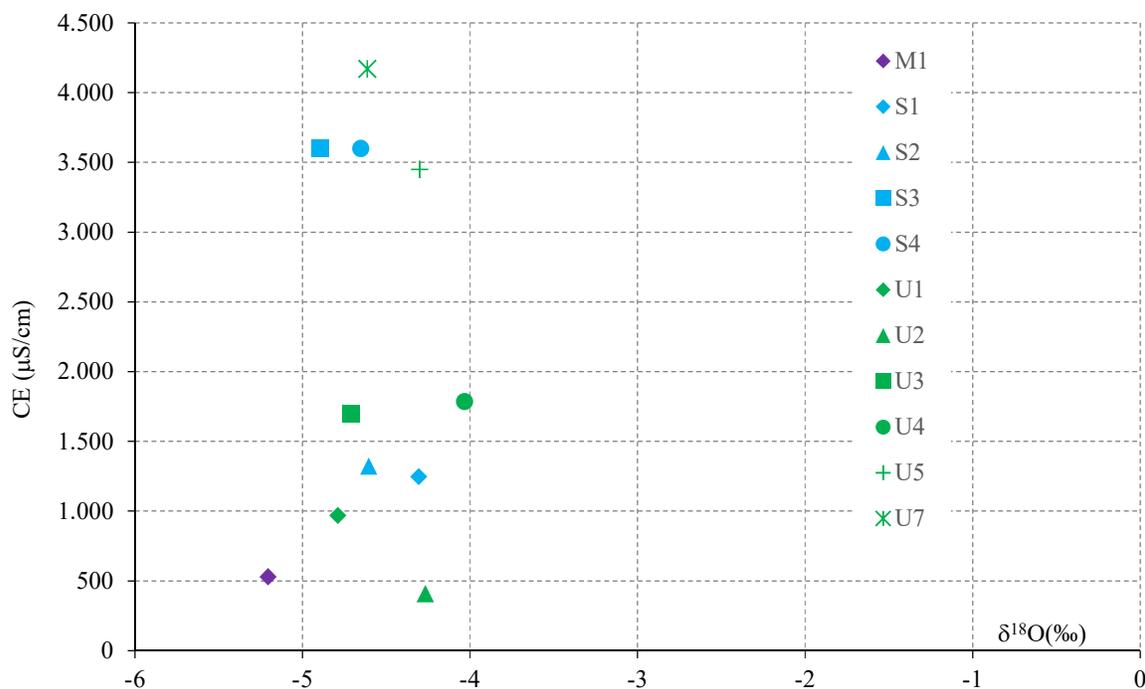


Figura 5.38: Composición isotópica ($\delta^{18}\text{O}\text{‰}$) y CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), de los sitios de agua subterránea muestreados. Zona Meaucó (violeta), zona Parque Luro (celeste) y zona Utracán (verde).

La Figura 5.39 ilustra la comparación en muestras de agua subterránea del contenido del ión cloruro y la composición de $\delta^2\text{H}\text{‰}$ y $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$. En ambos casos se observa el mismo patrón que es comparable también al observado en la Figura 5.38, donde para un similar contenido isotópico, los puntos se alinean en el sentido de la concentración de cloruros, es decir no se observa una evidente desviación que pudiera atribuirse a mezcla de aguas. Igualmente, la dispersión de los puntos es algo mayor cuando se considera el contenido isotópico de $\delta^2\text{H}\text{‰}$, pero no muestran un patrón del contenido isotópico atribuible a los posibles flujos subterráneos descritos en el capítulo anterior, dado que se observan diferentes contenidos de cloruro para valores similares de $\delta^2\text{H}\text{‰}$ (U5, U4, y S1).

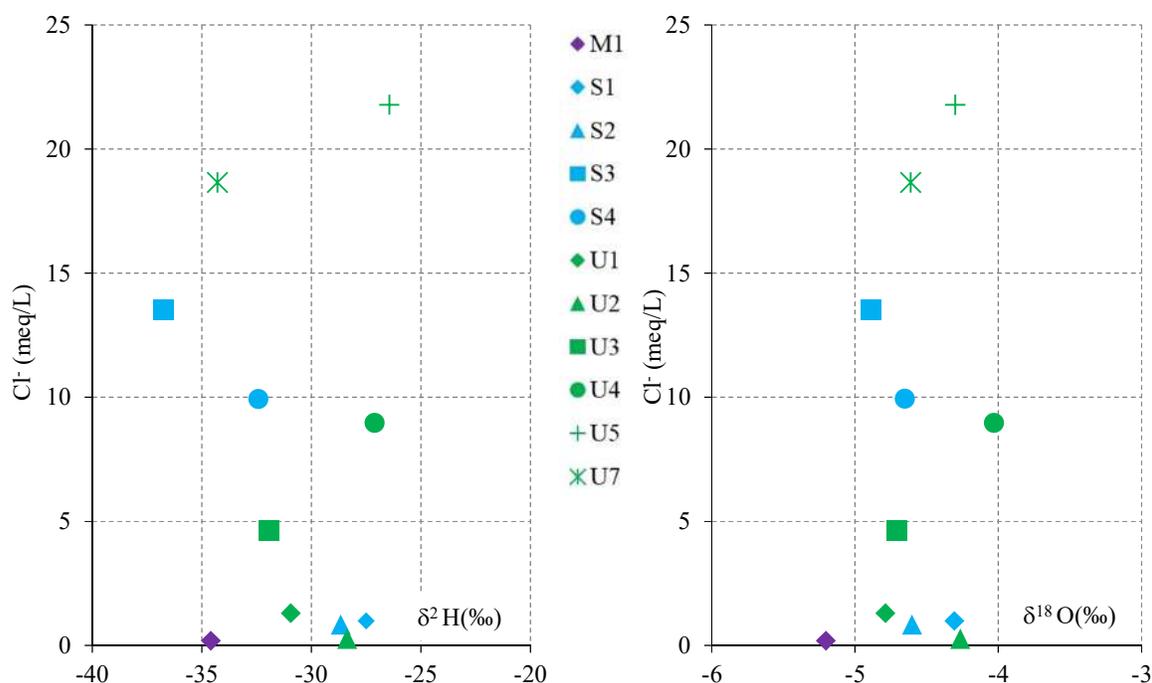


Figura 5.39: Composición isotópica ($\delta^2\text{H}\text{‰}$ y $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$) y Cl^- (meq/L), de los sitios de agua subterránea muestreados. Zona Meaucó (violeta), zona Parque Luro (celeste) y zona Utracán (verde).

Todos los puntos de agua subterránea analizada evidencian menor enriquecimiento isotópico que el observado en las lagunas. Igualmente, se observaron menores valores en aguas de médano que actúan como área de recarga, mientras que los mayores valores fueron registrados en ambientes de planicie con flujos de aguas más desconectados de la recarga de origen meteórico.

5.5. ANÁLISIS LIMNOLÓGICO

De acuerdo a los valores de salinidad establecidos por Hammer (1986) y detallados en la Tabla 4.1, la laguna ubicada en la zona Meaucó es del tipo subsalina, la laguna La Salada en zona Parque Luro es hipersalina extrema; y la laguna Utracán en el Valle Argentino es hipersalina.

Los resultados obtenidos en la Tabla 5.21 indican que la laguna en zona Meaucó registró en promedio una CE de 876,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$, un RS de 589 g/L, junto a valores promedios de DS, pH, OD y Chl *a* de 0,4 m, 8,8, 8,9 mg/L, y 11,6 mg/m^3 respectivamente. Los nutrientes de PT y NT presentaron valores de 18,4 y 11,2 mg/L respectivamente.

La laguna La Salada registró en promedio una CE de 149,3 mS/cm, un RS de 99.933 mg/L, y valores promedios de DS, pH, OD, y Chl *a* de 0,6 m, 8,3, 8,4 mg/l y 2,4 mg/m^3 . El de PT y NT presentaron valores de 7,3 y 20,5 mg/L respectivamente.

La laguna de Utracán registró en promedio una CE de 66,0 mS/cm, un RS de 50.635 mg/L, y valores promedios de DS, pH, OD, y Chl *a* de 0,3 m, 9,0, 8,9 mg/l y 1,8 mg/m^3 . El PT y NT presentaron valores de 13,9 y 22,0 mg/L respectivamente.

El DS promedio para las lagunas fluctuó entre una mayor transparencia de 0,6 m para La Salada y una menor de 0,3 m para Utracán. El pH y OD promedios fueron similares en las tres lagunas, y la Chl *a* promedio registró una diferencia de un orden de magnitud superior en la laguna en zona Meaucó (11,6 mg/m³) respecto a las laguna La Salada (2,4 mg/m³) y Utracán (1,8 mg/m³), valor que indica que en la zona del Meaucó existe una mayor productividad primaria y un mayor desarrollo de biomasa algal.

El PT registró su valor promedio más bajo en La Salada (7,3 mg/L) con un orden de magnitud inferior a las otras dos lagunas en comparación. El NT promedio registro valores similares entre los cuerpos de agua de La Salada y Utracán (20,5 mg/L y 22,0 mg/L respectivamente), descendiendo para el caso de la laguna en zona Meaucó (11,2 mg/L).

Tabla 5.21: Variables limnológicas de la lagunas en las zonas Meaucó, Parque Luro y Utracán. Transparencia (DS), pH, Residuo seco (RS), Conductividad Eléctrica (CE), Oxígeno disuelto (OD), Clorofila *a* (Chl *a*), Fosforo total (PT) y Nitrógeno total (NT).

El Meaucó	DS m	pH	RS mg/L	CE μS/cm	OD mg/L	Chl <i>a</i> mg/m ³	PT mg/L	NT mg/L
26/04/18	0,5	9,0	502	850,0	8,4	18,8	0,4	4,0
06/09/18	0,4	8,6	640	912,0	9,4	15,8	13,1	15,0
11/12/18	0,4	8,6	640	915,0	s/d	7,8	49,4	15,3
01/03/19	0,5	9,2	574	828,0	s/d	4,0	10,6	10,6
Promedio	0,4	8,8	589	876,3	8,9	11,6	18,4	11,2

La Salada	DS m	pH	RS mg/L	CE mS/cm	OD mg/L	Chl <i>a</i> mg/m ³	PT mg/L	NT mg/L
07/03/18	0,8	8,6	117.238	172,0	8,6	2,0	0,3	5,0
10/08/18	0,5	8,3	90.500	128,5	s/d	7,2	10,6	20,6
21/12/18	s/d	8,1	88.850	136,6	8,2	0,4	11,3	31,9
26/02/19	s/d	8,2	103.143	160,2	s/d	0,1	6,9	24,4
Promedio	0,6	8,3	99.933	149,3	8,4	2,4	7,3	20,5

Utracán	DS m	pH	RS mg/L	CE mS/cm	OD mg/L	Chl <i>a</i> mg/m ³	PT mg/L	NT mg/L
26/02/18	0,4	9,5	75.900	75,9	7,8	0,7	8,1	11,0
11/08/18	0,4	9,6	46.500	66,5	10,4	2,1	15,6	22,5
20/12/18	0,2	9,7	27.800	45,5	8,4	2,4	15,6	22,5
21/03/19	0,2	7,3	52.340	76,0	s/d	2,1	16,3	31,9
Promedio	0,3	9,0	50.635	66,0	8,9	1,8	13,9	22,0

El ET se define como la productividad de un cuerpo de agua (Carlson, 1984), y representa el peso total de biomasa en el momento de la medición. La calidad de las aguas superficiales se ve afectada por la eutrofización, que hace referencia al enriquecimiento de las aguas en nutrientes y conduce, generalmente, a modificaciones sintomáticas tales como cambios en la estructura de la comunidad biótica, aumento de la producción de algas y otras plantas acuáticas, y el deterioro de la calidad del agua, así como de todos sus usos en general (OCDE, 1982).

Para definir los ET de los tres cuerpos de agua analizados se utilizaron dos procedimientos, a los efectos de comparar los resultados. La Tabla 5.22 detalla el Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI, Trophic Status Index) determinado a partir de las ecuaciones 4.6 a 4.9 para las lagunas en estudio.

Tabla 5.22: Estado trófico (ET) de las lagunas en zona Meaucó, La Salada y Utracán para el año 2018. TSI_{DS}: Índice dependiente de la profundidad de visión del DS, TSI_{PT}: índice dependiente de las concentraciones de PT, TSI_{Chl a}: índice dependiente de la clorofila *a*, y TSI: índice del estado trófico promedio.

Laguna	Índices del estado trófico				ET
	TSI _{DS}	TSI _{PT}	TSI _{Chl a}	TSI	
Meaucó	72,1	147,6	56,0	91,9 > 80	Hipereutrófico
La Salada	66,5	132,6	41,4	80,2 > 80	Hipereutrófico
Utracán	75,8	140,9	35,4	84,0 > 80	Hipereutrófico

La Tabla 5.23 detalla los rangos de cada variable considerada por la OCDE (Organización de Cooperación Económica y Desarrollo) para las lagunas en análisis.

Tabla 5.23: Estado trófico (ET) de las lagunas en zona Meaucó, La Salada y Utracán para el año 2018, de acuerdo al índice OCDE. PT: fósforo total, Chl *a*_{md}: media anual de clorofila *a*, Chl *a*_{mx}: máximo anual de clorofila *a*, y DS_m: profundidad media anual.

Laguna	PT	Chl <i>a</i> _{md}	Chl <i>a</i> _{mx}	DS _m	ET adoptado
Meaucó	Hipereutrófico	Eutrófico	Mesotrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
La Salada	Hipereutrófico	Mesotrófico	Oligotrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico
Utracán	Hipereutrófico	Oligotrófico	Ultraoligotrófico	Hipereutrófico	Hipereutrófico

Se desprende que las tres lagunas analizadas poseen un estado hipereutrófico, debido fundamentalmente a las altas concentraciones de PT. Esto se corresponde con lo descrito por Echaniz (2010), donde se indica que las concentraciones de nutrientes y en especial el fósforo en las lagunas pampeanas, respecto a otros lugares de la Argentina, las ubican dentro del intervalo de hipereutrofia.

Para el TSI se observa un valor máximo en la laguna del Meaucó, un valor mínimo en La Salada que casi le confiere condiciones eutróficas y un valor intermedio en la laguna de Utracán. De acuerdo al índice OCDE, el parámetro Chl *a*, determina que la laguna del Meaucó sea eutrófica mientras que las otras lagunas se categorizan como mesotrófica y oligotrófica. Esto evidencia la

influencia del factor salinidad en el estado limnológico de las lagunas, fundamentalmente en la presencia de algas en el Meaucó con una condición subsalina, y su prácticamente nula ocurrencia en las lagunas de Utracán y La Salada categorizadas como hipersalinas.

El tenor salino es un factor que le confiere características diferentes y contrastantes a cada laguna. Mientras que, si se analizan los estados tróficos de los cuerpos de agua, se observan que la consideración de diferentes factores, determina valores similares o el mismo nivel trófico para las lagunas en análisis. Sin embargo, se observa que la menor salinidad determina que la laguna Meaucó posea mayores valores de PT o la Chl *a* y turbidez, mientras que valores opuestos se observaron en la laguna hipersalina extrema La Salada, y una condición intermedia en la laguna hipersalina de Utracán.

5.6. MODELO CONCEPTUAL

El análisis de la incidencia del relieve y de la geomorfología sobre los flujos de escorrentía superficial y subterránea, la descripción de las funciones de entrada y salida atmosféricas, y la caracterización de la expresión química e isotópica, permite el planteo de un modelo conceptual que explique la ocurrencia y dinámica, en especial la permanencia, de los cuerpos de agua analizados.

5.6.1. Relación escorrentía superficial y subterránea con las lagunas

Las tres lagunas analizadas se ubican en la RVT, sin embargo su ocurrencia y permanencia es resultante de diferentes procesos y configuraciones. La laguna en zona Meaucó se ubica en un sector intermediano. La Figura 5.40 ilustra el perfil esquemático de la laguna y zona de influencia. A falta de información detallada, el NF fue interpretado a partir de lo descrito en el corte A-A' de la Figura 5.5. La ubicación de la laguna en el relieve medanoso y la reducida profundidad del NF con fluctuaciones muy relacionadas a las precipitaciones, indican que existen aportes a la laguna producto de flujos subterráneos locales, inducidos por la elevada infiltración del agua meteórica en los mantos eólicos y la inmediata recarga acuífera. La captación del agua meteórica y el rápido aporte subterráneo a la laguna, satisfacen las pérdidas por evaporación. Esta configuración determina que la laguna tenga una caracterización de tipo subsalina. La Salada en cambio, se ubica en el sector terminal del Valle Transversal de Quehué. Su ubicación en una gran depresión enmarcada en un ambiente de meseta determina que alcancen a la laguna los flujos subterráneos regionales. La escorrentía superficial está limitada a eventuales aportes de corta duración resultado de P locales intensas que puedan activar al arroyo Quehué. La Figura 5.41 ilustra el perfil esquemático de la laguna en el cual se bosqueja, a falta de información detallada, el NF tomando el corte B-B' de la Figura 5.10. La mayor profundidad del NF junto a la menor infiltración por las características propias del ambiente de meseta, produce flujos desfasados en el tiempo y en el

espacio con respecto al evento pluvial que le da origen. La Salada resume flujos regionales que manifiestan una categorización de laguna hipersalina extrema.

La Laguna Utracán presenta condición intermedia, ubicada entre el cordón medanoso del Valle Argentino y el ambiente de meseta estructural hacia el norte. El sector medanoso se asemeja a las características del Meaucó, con flujos locales rápidos y de corta distancia. Mientras que el sector de meseta posee características similares al ambiente de La Salada, con flujos regionales o de muy bajos gradientes. La Figura 5.42 ilustra el perfil esquemático donde se ubica la laguna de Utracán tomando el NF de la Figura 3.17 y el corte B-B' de la Figura 5.15. La laguna de Utracán es alimentada por un flujo subterráneo con bajos gradientes desde la zona de meseta, y en el otro extremo con un flujo subterráneo de mayor gradiente de la zona de médano, que le confieren características intermedias y una categorización hipersalina.

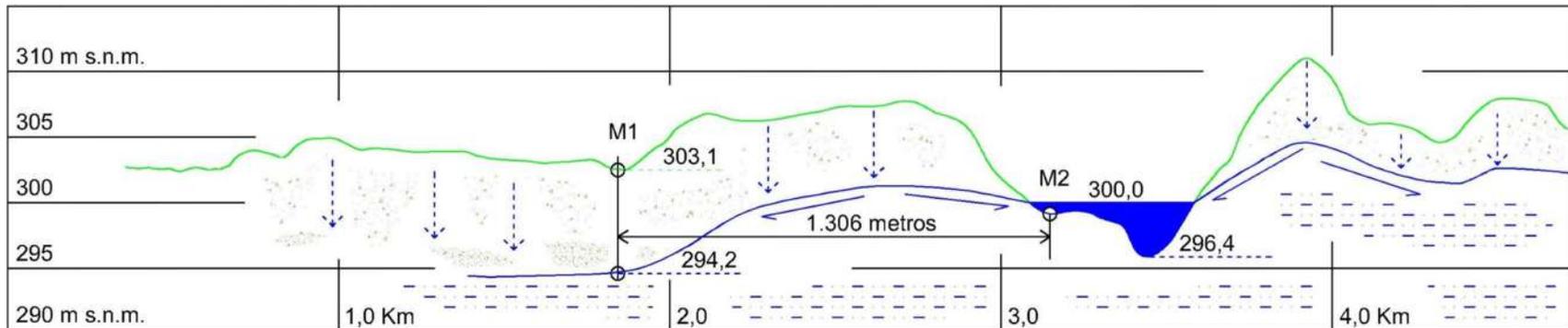


Figura 5.40: Perfil transversal de la zona del Meaucó correspondiente al corte A-A' de la Figura 5.5. NF esquemático.

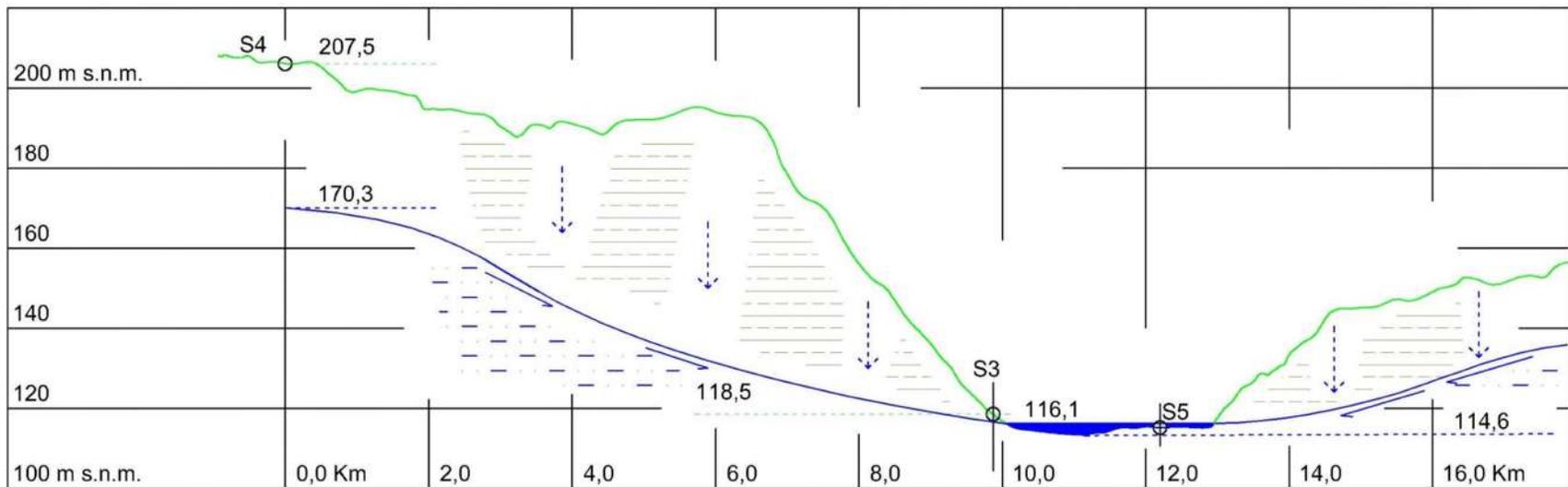


Figura 5.41: Perfil transversal de la zona de La Salada correspondiente al corte B-B' de la Figura 5.10. NF esquemático.

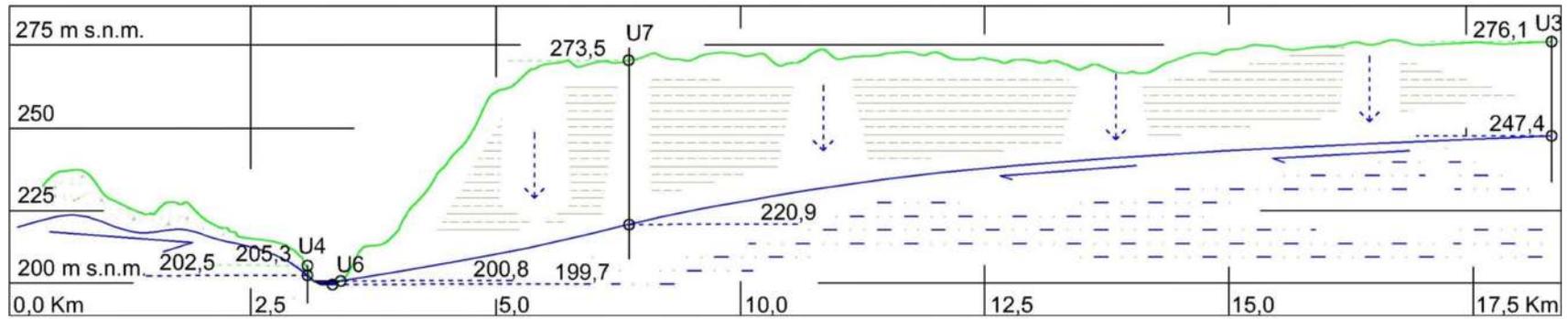


Figura 5.42: Perfil transversal de la zona Utracán correspondiente al corte A-A' de la Figura 5.15. Con el NF de Figura 3.17.

5.6.2. Balance hídrico lagunar

El análisis precedente permite identificar los procesos y flujos existentes necesarios para establecer el balance hídrico (BH) de las lagunas analizadas. A partir de las áreas detalladas en las Figuras 5.3, 5.9 y 5.14, y de las variables de precipitación y evaporación (ver Tablas 5.8 y 5.10), se plantea la siguiente ecuación general de BH en cada cuerpo de agua en las cuales el carácter permanente de las mismas, indica la interacción con el agua subterránea:

$$dV_i = P_i + ESE_i + ESD_i + EG_i - EV_i \quad 5.1$$

donde para cada mes i analizado se tiene:

P_i : Precipitación (m^3),

ESE_i : Escorrentía superficial encauzada (m^3),

ESD_i : Escorrentía superficial difusa (mantiforme y subsuperficial) (m^3),

EG_i : Escorrentía subterránea (m^3),

EV_i : Evaporación (m^3),

dV_i : Variación del volumen (m^3).

Para la laguna de la zona Meaucó, ubicada en una zona intermédano, la cobertura arenosa facilita la infiltración del agua meteorológica y determina que no existan flujos de escorrentía superficial encauzada (ESE) ni difusa (ESD). En consecuencia, existe un ingreso por P y un egreso directo por evaporación (EV). El desbalance en los flujos mencionados, se cubre con el aporte subterráneo (EG). La Figura 5.43 esquematiza el BH de la laguna Meauco.

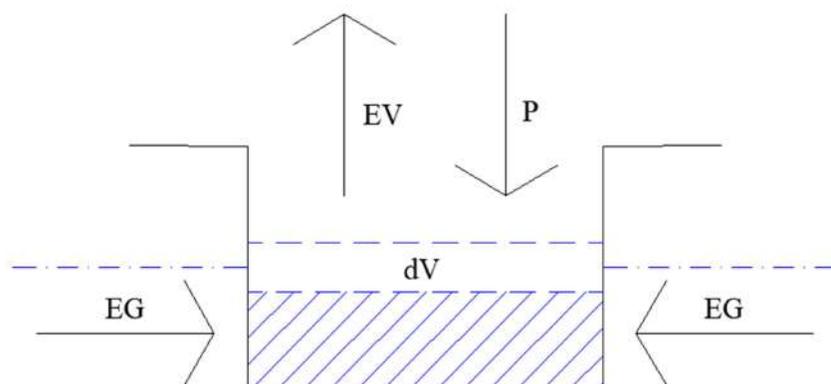


Figura 5.43: Modelo hidrológico conceptual de la laguna en zona Meaucó utilizado en el planteamiento del balance hídrico (BH). Precipitación (P), Evaporación (EV), Esguerrimiento subterráneo (EG) y Variación de volumen de la laguna (dV).

El BH a paso mensual para el año 2018 se detalla en la Tabla 5.24. Entre mayo y agosto de 2018 las entradas meteóricas superaron a las salidas en $11.270 m^3$, condición que determinó un aumento de nivel en la laguna y que significó una variación de volumen de $51.000 m^3$. Esta variación fue complementada por un aporte de EG de $39.730 m^3$, equivalente a un aporte medio

mensual de 9.933 m³. Desde septiembre a diciembre de 2018 la diferencia entre entradas y salidas fue negativa, sin embargo el nivel en la laguna no varió. Esto significa que el déficit atmosférico fue compensado por la EG, con volumen de 16.389 m³ equivalente a un aporte medio mensual de 4.097 m³ por mes. Esta condición en la que independientemente de la existencia de excesos o déficits atmosféricos, los mismos son compensados por la EG, explica el modelo de funcionamiento hidrológico propuesto. Esto determina la permanencia y la interacción con el agua subterránea del tipo efluente de la laguna Meaucó.

A pesar de las incertidumbres asociadas, fundamentalmente al intervalo de medición utilizado y en la determinación de las cotas, es posible asumir que en respuesta al balance atmosférico, se verifica tanto un ascenso como descenso de ambos, del nivel en la laguna y del NF. Esto mantiene aproximadamente constantes los gradientes hidráulicos y la aportación de la EG, además de ilustrar la estrecha relación entre el NF y las P, debido a la cobertura medanosa que facilita la infiltración y la rápida recarga.

Tabla 5.24: Balance hídrico (BH) de la laguna en zona Meaucó. Precipitación (P), Evaporación (EV), Diferencia de la precipitación y evaporación (P-EV), diferencia de la precipitación y evaporación acumulada (Pa-EVa), Variación del volumen de la laguna (dV), Escorrentía subterránea acumulada (EGa), Escorrentía subterránea (EG).

Fecha	P m ³	EV m ³	P-EV m ³	Pa-EVa m ³	Cota m s.n.m.	Área m ²	dV m ³	EGa m ³	EG m ³
01/18	1.827	17.136							
02/18	7.875	16.544							
03/18	0	12.008							
04/18	882	7.119			299,8	120.000			
05/18	13.205	3.793	9.412	9.412					9.933
06/18	1.789	1.386	403	9.815					9.933
07/18	5.607	1.399	4.208	14.024					9.933
08/18	270	3.024	-2.754	11.270	300,2	135.000	51.000	39.730	9.933
09/18	1.755	6.048	-4.293	-4.293					4.097
10/18	8.006	5.616	2.390	-1.904					4.097
11/18	12.717	11.867	851	-1.053					4.097
12/18	864	16.200	-15.336	-16.389	300,2	135.000	0	16.389	4.097

La laguna La Salada al ser parte de un amplio sistema hídrico y ubicarse en el sector terminal del Valle de Quehué, no presenta una configuración de un vaso o depresión única. Por el contrario, se visualizan umbrales topográficos que definen diferentes áreas de derrame con distinta permanencia. Esto determina que la laguna se expanda, presentando diferentes extensiones superficiales a partir de la conexión de áreas deprimidas en periodos húmedos del ciclo hidrológico, o se contraiga marcadamente en caso contrario (Figura 5.44). La laguna se caracteriza por tener

otros aportes superficiales además de la P. Estos pueden incluir ocasionales flujos de ESE del arroyo Quehué que alcanzan a la laguna La Salada mediante la conexión de cuerpos lagunares que conforman su nivel de base, y eventualmente aportes de ESD desde el talud de la meseta. Sumado al posible aporte de los flujos superficiales descriptos, cabe mencionar el aporte subterráneo puntual que constituye el surgente S3. La Figura 5.45 esquematiza el modelo conceptual de funcionamiento hidrológico de la laguna La Salada.

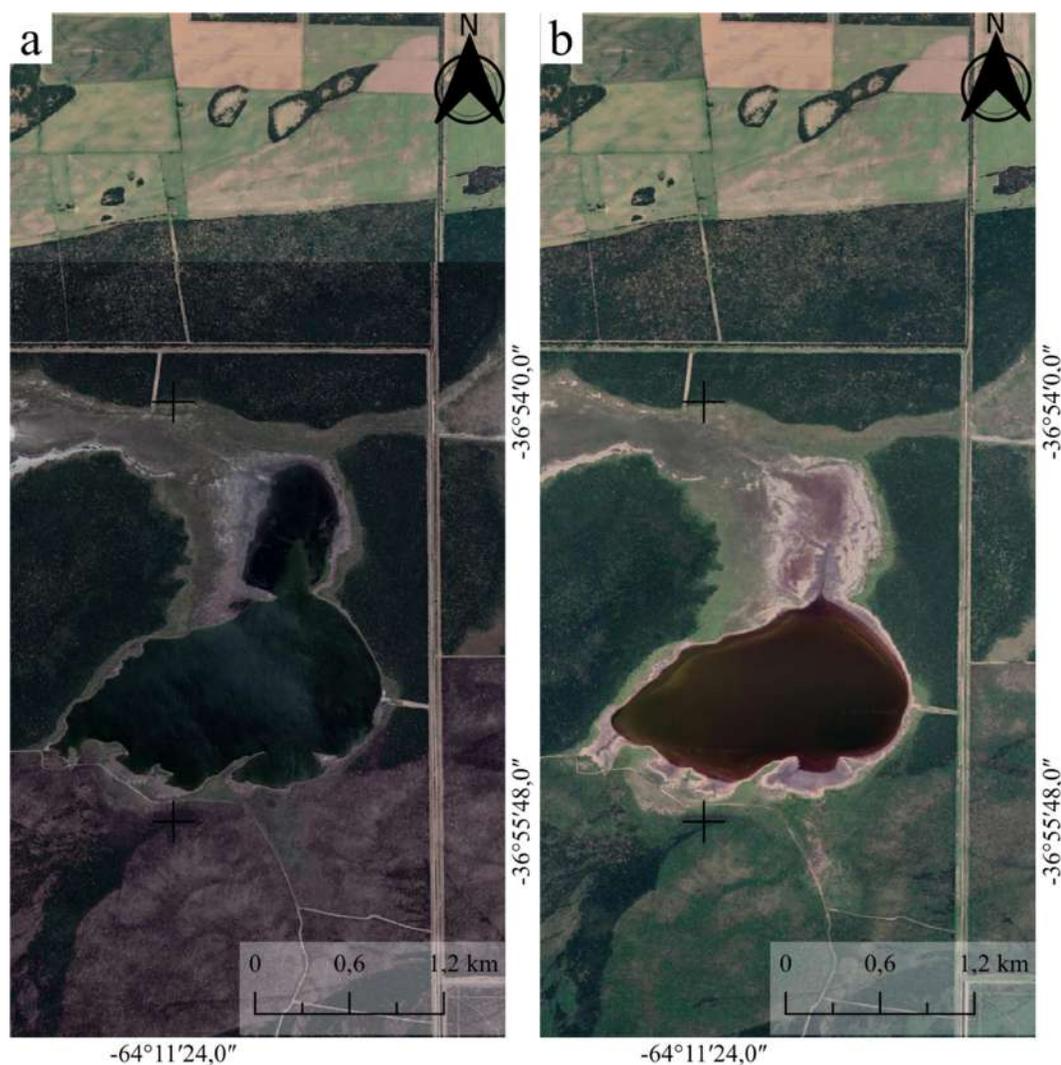


Figura 5.44: Área de la laguna La Salada. a) extensión de la laguna superada la cota umbral de 116,1 m s.n.m. (03/18) , y b) extensión de la laguna, de carácter permanente, con una cota inferior a 116,1 m s.n.m. (02/21). Imágenes Google Earth. Esc.: 1:33.000.

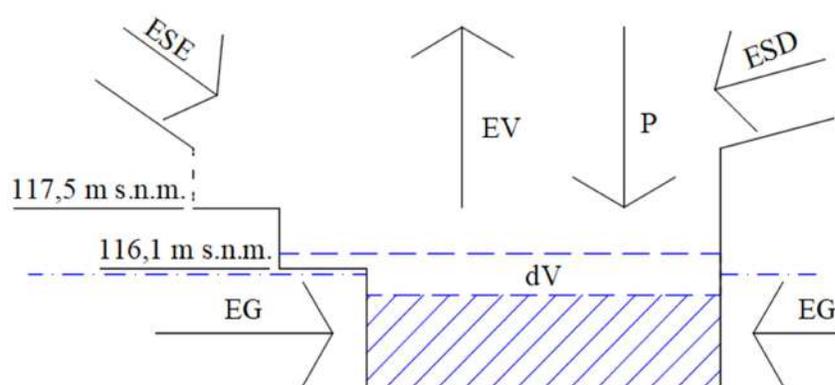


Figura 5.45: Modelo hidrológico conceptual de la laguna La Salada utilizado en el planteamiento del balance hídrico (BH). Se detallan distintos umbrales topográficos que definen diferentes áreas de derrame. Precipitación (P), Evaporación (EV), Esgurrimento subterráneo (EG), Escorrentía superficial encauzada (ESE), Escorrentía superficial difusa (ESD) y Variación volumen de la laguna (dV).

La Tabla 5.25 detalla el BH para el año 2018 basado en el esquema descrito. Para el periodo en análisis no se observaron aportes superficiales de ESE y ESD, sin embargo la laguna se encontraba en fase de recesión luego, de las importantes lluvias que activaron el sistema en 2017. Además y debido a la falta de registros, el aporte del surgente S3 se lo incluye dentro de la EG. Se observa, que entre abril y julio de 2018, se registró un balance atmosférico acumulativo positivo dado que en el periodo invernal las P fueron mayores que la EV. En consecuencia, el nivel de la laguna se mantuvo constante en 116,2 m s.n.m. Teniendo en cuenta que no existieron ingresos de ESE y ESD, y que no se verificó un cambio en el volumen de la laguna, el excedente atmosférico de 31.474 m^3 , determina que el valor acumulado de la EG sea de -31.474 m^3 . El signo negativo indica el carácter influente de la laguna para la cota de 116,2 m s.n.m. y que equivale a un valor mensual de 7.869 m^3 .

Para el periodo de agosto a diciembre de 2018, se registró un déficit atmosférico (207.352 m^3) producto del aumento de EV, a pesar de las importantes P del mes de noviembre. En respuesta a dicho déficit, el nivel descendió en la laguna a 116,1 m s.n.m. En este caso se observa que el volumen en la laguna descendió más que la demanda atmosférica, totalizando un valor de -224.650 m^3 . Esto determina un volumen de EG de -17.298 m^3 . Nuevamente el signo negativo indica que el carácter influente de la laguna con un valor de cota superior a 116,1 m s.n.m. Este funcionamiento hidrológico es consistente con el modelo de BH propuesto y con la recesión de la superficie ocupada por la laguna observada durante 2018. Si bien el BH se aplicó durante un año de recesión, las observaciones indican que la laguna La Salada a cota inferior a 116,1 m s.n.m., evidencia un carácter permanente y una relación efluente donde las salidas por EV son compensadas por el aporte de la EG.

Tabla 5.25: Balance hídrico (BH) de la laguna La Salada. Precipitación (P), Evaporación (EV), diferencia de la precipitación y evaporación (P-EV), diferencia de la precipitación y evaporación acumulada (Pa-EVa), Variación del volumen de la laguna (dV), Excedentes/déficits (E/D), Escorrentía subterránea (EG).

Fecha	P m ³	EV m ³	P-EV m ³	Pa-EVa m ³	Cota m s.n.m.	Área m ²	dV m ³	EGa m ³	EG m ³
01-18	33.015	299.336							
02-18	61.628	288.991							
03-18	13.206	209.755			116,2	2.582.000			
04-18	28.613	124.357	-95.744	-95.744					-7.869
05-18	134.261	66.250	68.011	-27.733					-7.869
06-18	30.814	24.211	6.603	-21.130					-7.869
07-18	77.035	24.431	52.604	31.474	116,2	2.582.000	0	-31.474	-7.869
08-18	29.205	50.322	-21.117	10.357					-3.460
09-18	60.656	100.643	-39.988	-39.988					-3.460
10-18	60.656	93.454	-32.799	-72.787					-3.460
11-18	215.664	197.467	18.197	-54.590					-3.460
12-18	116.818	269.580	-152.762	-207.352	116,1	1.911.000	-224.650	-17.298	-3.460

La laguna de Utracán al igual que La Salada, forman parte un sistema hídrico mayor que bajo determinadas circunstancias de activación en respuesta a un ciclo húmedo, resulta en aportes superficiales a partir de la conexión de las lagunas alineadas entre el cordón medanoso central del Valle Argentino y el talud de meseta (ver Figuras 5.13 y 5.14). Sin embargo, los aportes de ESE desde otras lagunas son solo observados en condición de saturación, es decir como consecuencia de periodos mas o menos extensos de importantes precipitaciones. La ESD en cambio, es ocasional e intermitente y típicamente relacionada a la ocurrencia de eventos de precipitación localmente intensos. La Figura 5.46 esquematiza el modelo de funcionamiento hidrológico de la laguna de Utracán.

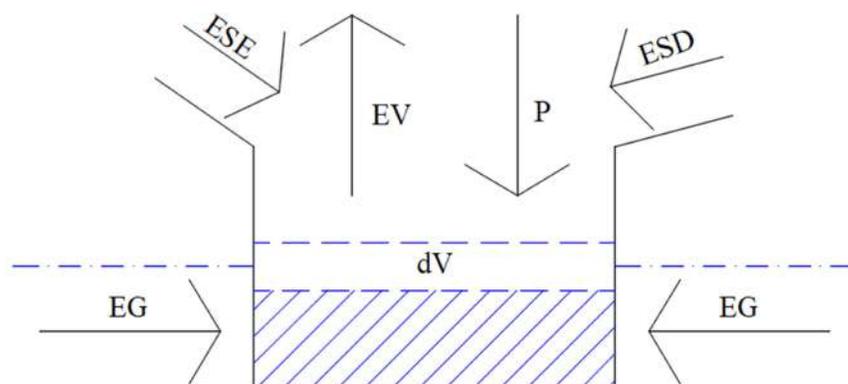


Figura 5.46: Modelo hidrológico conceptual de la laguna Utracán utilizado en el planteamiento del balance hídrico (BH). Precipitación (P), Evaporación (EV), Escurrimiento subterráneo (EG), Escorrentía superficial encauzada (ESE), Escorrentía superficial difusa (ESD) y Variación volumen de la laguna (dV).

En la Tabla 5.26 se detalla el BH de la laguna Utracán para el año 2018. En dicho periodo no se verificó el aporte de ESE desde lagunas encadenadas y no se evidenció ESD desde el talud de la meseta. Entre marzo y agosto de 2018, se registró un balance atmosférico acumulativo levemente negativo de 1.805 m^3 , sin embargo el nivel de la laguna ascendió de 200,8 a 200,9 m s.n.m. lo que representó un aumento de volumen de 70.300 m^3 . Esto posiblemente se debió a las importantes precipitaciones registradas en el mes de julio. En consecuencia, el volumen de EG necesario para compensar las variaciones descritas fue igual a 72.105 m^3 , lo que representa una aportación mensual de 12.017 m^3 . Desde septiembre a diciembre, el balance atmosférico fue positivo con un valor acumulado de 12.793 m^3 . En respuesta, el nivel en la laguna ascendió a 201 m s.n.m., valor que representó una variación de volumen de 71.250 m^3 . Esto determinó que el volumen de EG necesario para compensar el balance atmosférico y el ascenso de nivel en la laguna sea de 58.457 m^3 , equivalente a una aportación mensual de 14.614 m^3 . Se observa así, que el modelo de funcionamiento propuesto es consistente con lo observado y que el aporte de la EG representa una variable fundamental para la permanencia de la laguna de Utracán, compensando el carácter efluente de la misma debido a las demandas atmosféricas.

Tabla 5.26: Balance hídrico (BH) de la laguna Utracán. Precipitación (P), Evaporación (EV), diferencia de la precipitación y evaporación (P-EV), diferencia de la precipitación y evaporación acumulada (Pa-EVa), Variación del volumen de la laguna (dV), Escorrentía subterránea acumulada (EGa), Escorrentía subterránea (EG), Escorrentía superficial difusa (ESD).

Fecha	P m ³	EV m ³	P-EV m ³	Pa-EVa m ³	Cota m s.n.m.	Área m ²	dV m ³	EGa m ³	EG m ³
01-18	39.368	95.608							
02-18	14.763	92.304			200,8	696.000			
03-18	15.466	66.996	-51.530	-51.530					12.017
04-18	39.368	39.720	-352	-51.881					12.017
05-18	47.101	21.160	25.941	-25.941					12.017
06-18	4.921	7.733	-2.812	-28.753					12.017
07-18	43.586	7.803	35.783	7.030					12.017
08-18	7.125	15.960	-8.835	-1.805	200,9	710.000	70.300	72.105	12.017
09-18	40.613	31.920	8.693	8.693					14.614
10-18	26.363	29.640	-3.278	5.415					14.614
11-18	105.806	62.629	43.178	48.593					14.614
12-18	34.200	70.000	-35.800	12.793	201,0	715.000	71.250	58.457	14.614

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

6.1. ASPECTOS GENERALES

Se observa para las lagunas analizadas en diferentes ambientes de la RVT que su permanencia temporal presenta una expresión hidrológica diferente y que la misma responde a disímiles configuraciones del ambiente, es decir a la vegetación, suelos, topografía, geomorfología y geología. Estos factores inciden marcadamente sobre el balance hídrico y en particular en la interacción agua superficial-subterránea.

6.2. ZONA MEAUCÓ

Se ubica en el sector occidental de la RVT. El ambiente se caracteriza por ser un extenso campo de dunas y de relieve ondulado. La laguna en la zona del Meaucó se sitúa en una depresión intermédano, como parte del extremo meridional de la zona del Meaucó y que constituye a su vez, las nacientes del Valle de Daza que dan origen al Valle de Quehué.

El flujo subterráneo es eminentemente local. Esto es debido al ambiente de médanos con una cobertura graminosa sammófila y suelos homogéneos de textura gruesa y estructura de grano simple. La cubierta medanosa, determina que ante un evento de precipitación exista una rápida infiltración, percolación y recarga. La inmediata respuesta del NF, define un flujo subterráneo de corta escala temporal que intersecta al terreno en depresiones intermédanos. Dicha descarga subterránea a la cubeta lagunar compensa las pérdidas por evaporación y determina la ocurrencia de una laguna de carácter permanente.

Debido a las características del paisaje mencionadas, no se verifica la ocurrencia de flujos superficiales (ESE o ESD), por lo que el déficit entre la P y EV es cubierto por el EG. El aumento de nivel del agua en la laguna es siempre respuesta a mayores P, que además de su contribución directa sobre el cuerpo de agua, generan un gradiente hidráulico que determina un mayor aporte de EG.

La morfología ondulada de la cobertura de arena eólica que se continúa en el lecho de la laguna, determina que las lagunas se ubiquen en el sector intermédano. Esta característica le confiere una profundidad mayor comparada con el resto de los cuerpos lagunares analizados en este estudio. El análisis batimétrico indicó una profundidad promedio de 1,9 m con un máximo de 3,6 m.

La existencia de un flujo de descarga local se evidencia también a partir del análisis hidroquímico. Se observa, que tanto el agua superficial como la subterránea poseen características químicas similares y se encuentran estrechamente relacionadas a la precipitación. El tenor salino

promedio del agua subterránea y superficial es diluido, con valores de salinidad de 434 y 876 mg/L respectivamente y ambas tipificadas como bicarbonatadas cálcicas. Estos valores confirman la descarga subterránea y la mayor concentración de sales en la laguna por evaporación. Igualmente, la laguna es categorizada como subsalina. Similarmente, los contenidos isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ muestran valores muy contrastantes entre el agua superficial, muy enriquecida debido a la evaporación, y el agua subterránea con valores que se ubican sobre la recta meteórica local y global.

Las características limnológicas muestran que es la laguna con mayor Chl *a* y un estado trófico del tipo hipereutrófico, fuertemente influenciado por los valores de PT.

6.3. ZONA PARQUE LURO

Comprende el extremo distal oriental del Valle de Quehué perteneciente a la RVT. La laguna La Salada, se encuentra en una gran depresión en un sector donde se definen condiciones topográficas contrastantes entre ambientes de planicie y de valle. El paisaje en torno a la laguna presenta una cobertura de pastizal bajo, con arbustos perennifolios y bosque denso caducifolio de caldén. Como consecuencia de dicha configuración, la laguna recibe la descarga casi exclusivamente de flujo regional subterráneo ya sea desde los ambientes de planicie hacia el valle o a lo largo de este último en sentido O-E. Existen además, esporádicos aportes superficiales encauzados (ESE) del denominado arroyo de Quehué, en respuesta a una secuencia de años con precipitaciones abundantes o como consecuencia de una precipitación locamente intensa, y eventuales aportes de escorrentía superficial difusa (ESD), aunque limitados por la densa cobertura vegetal.

Típicamente, en la laguna La Salada las variaciones de nivel no están estrechamente vinculadas a las entradas y salidas atmosféricas. Esta condición determina que el sistema responde a flujos con una memoria que es respuesta a eventos de un paso de tiempo mayor al mensual. El déficit generado por la diferencia de P y EV es compensado por el aporte de EG y por los eventuales flujos superficiales del arroyo de Quehué en respuesta a periodos de abundantes precipitaciones, los cuales no fueron observados durante este estudio.

La amplitud del valle, determina que la laguna sea somera, y que presente una extensión variable. Así, según sea un periodo de activación o contracción de la superficie inundada, puede determinar una interacción con el agua subterránea variable. Sin embargo el cuerpo colector es efluente y registró una profundidad promedio de 0,8 m y una profundidad máxima de 1,5.

Esta característica le confiere a la laguna la clasificación de hipersalina extrema y que su tipificación sea clorurada y/o sulfatada sódica al igual que el agua subterránea en el punto S4 ubicado a 12,15 km, donde el NF se ubica a 31,1 m de profundidad. Dicha tipificación se

corresponde también con la del surgente S3 ubicado en el margen de la laguna. Esto indica el aporte del flujo regional subterráneo.

El contenido isotópico, también mostró un marcado enriquecimiento del agua superficial respecto del agua subterránea con valores más próximos a la recta meteórica. No se observó una composición del agua subterránea que evidenciará mezclas de aguas, condición que indica que el incremento de la salinidad en dichos ambientes de planicie es respuesta a la disolución de sales en tránsito debido a los bajos gradientes hidráulicos, y no a procesos evaporativos.

Al igual que la laguna del Meaucó, La Salada es hipereutrófica, aunque con un menor valor de TSI y muy cercano al límite de eutrófica. Se verificó una elevada tasa de nutrientes, en especial el PT, aunque posee una baja transparencia, y marcadamente menores valores de Chl *a*.

6.4. ZONA UTRACÁN

La laguna de Utracán se localiza también en la RVT, y dentro del Valle Argentino. Su ubicación en un sector lateral del valle en contacto con la meseta estructural, determina que sea un ambiente geomorfológico e hidrológicamente contrastante. El paisaje refleja dichos contrastes, el área medanosa presenta un cobertura de pastizal bajo sammófilo que facilita la infiltración, mientras que en el talud de la meseta, se observa una estructura mas compleja, con un pastizal bajo con arbustos perennifolios y un bosque caducifolio ralo.

En la laguna convergen diferentes flujos de agua, la descarga subterránea local desde el cordón medanoso del valle y fuertemente vinculada a la precipitación, y el aporte subterráneo regional desde la meseta que debido a los muy bajos gradiente hidráulicos, es una respuesta temporalmente desfasada de la precipitación.

La laguna de Utracán al igual que La Salada, posee una variación de nivel que no está directamente relacionada al balance de entradas y salidas atmosféricas. Esta condición, determina que existan otros aportes, que con un paso de tiempo mayor, inciden sobre la expresión hidrológica de la laguna. El modelo de funcionamiento propuesto plantea que pueden existir ingresos por ESD en respuesta a eventos de precipitación intensos, o por ESE como consecuencia de periodos con abundantes precipitaciones que pueden dar lugar al encadenamiento de los cuerpos lagunares de la intercesión de la meseta con el cordón medanoso. Por lo cual, el déficit entre P y EV típicamente se compensa con EG por los aportes subterráneos locales desde el cordón medanoso. La laguna de Utracán posee una profundidad promedio de 0,8 m y una profundidad máxima de 1,1 m, valores que determinan que sea una laguna somera.

Las características hidroquímicas del agua de la laguna pueden variar dependiendo de cuál de los dos flujos sea el predominante, el local o el regional, y de las demandas atmosféricas, aunque su condición típica es hipersalina. La alimentación por flujo local desde el sistema medanoso

central del Valle Argentino, son aguas del tipo bicarbonatado cálcico y/o magnésico, que se materializan en los NF someros observados en los freáticos 10, 9 y 8. El aporte por el lado norte desde la meseta, posee una tipificación sulfatada y/o clorurada cálcica y/o magnésica que se observa en las perforaciones U3 y U7. La laguna (U6) y zonas de influencia como el surgente (U5) y a veces, el agua de la perforación (U4) es del tipo clorurada y/o sulfatada sódica ubicándose en el último punto de la secuencia de evolución geoquímica del agua subterránea.

El análisis isotópico también muestra que existe una diferenciación entre el agua superficial y subterránea. Se observa un marcado enriquecimiento isotópico por evaporación en la laguna, y valores del agua subterránea que se agrupan cercanos a la recta meteórica. Igualmente, se registraron menores valores en aguas de médano que en los ambientes de planicie, evidenciando la rápida infiltración y recarga en las geformas medanosas. No se observaron evidentes procesos de mezcla de agua que afectasen a la composición isotópica del agua subterránea.

Desde el punto de vista limnológico, la laguna de Utracán, posee un índice de estado trófico hipereutrófico, con un valor intermedio de TSI entre la laguna de la zona Meaucó y la laguna La Salada, también influenciado por elevados valores de PT, bajos valores de transparencia y de Chl *a*.

BIBLIOGRAFÍA

- Aimar, S.B. 1990. Estudio hidrológico de la hoja IGM 3766-23 Valle Daza. Beca de iniciación. Conicet.
- Aizaki, M., Otsuki, A., Fukushima, T., Hosomi, M.; et al. 1981. Aplicación del índice de estado trófico de Carlson a los lagos japoneses y relaciones entre el índice y otros parámetros. Actas de la rev. Asociación Internacional de Limnología Teórica y Aplicada. ISSN: 0368-0770.
- Calmels, A. P., 1996. Bosquejo geomorfológico de la Provincia de La Pampa. Santa Rosa, Universidad Nacional de La Pampa. Departamento de Ciencias Naturales.
- Cano, E. 1980 (Cord.). Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de la Pampa. Clima, Geomorfología y Suelo. INTA, Gobierno de La Pampa y Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.
- Carlson R. E. 1984. The Trophic State Concept: A Lake Management Perspective, *Lake and Reservoir Management*, 1:1, 427-430, DOI: 10.1080/07438148409354550.
- Carsel, R. F. y Parrish, R. S. 1988. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. Volume 24, Issue 5. *Water Resources Reseach*. 255-269p.
- Casagrande, G. y Conti H. A. 1980. Clima. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de la Pampa. INTA, Provincia de La Pampa, Universidad Nacional de La Pampa. Buenos Aires.
- Clark, I. y Fritz, P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. CRC Press, USA.
- Custodio, E. y Llamas, M., 1976. *Hidrología Subterránea*. II Tomos. Edición Omega. Barcelona.
- Dapeña, C. y Panarello, H. 2004. Composición isotópica de la lluvia de Buenos Aires. Su importancia para el estudio de los sistemas hidrológicos pampeanos. *Rev. Latino-Americana de Hidrogeología*, n.4, p.17-25, 2004.
- Dornes, P.F., Pochetti, R.A. y Buss, R.G. 2014. Relación entre procesos de escorrentía y recarga en la llanura pampeana occidental. II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Santa Fe, Arg. 10 pag. (6-111). ISBN: 978-987-692-039-1.
- Dornes, P.F., Comas, R.N., Cardín, D., Pochetti, R.A., Ianni, J, y Kruse, E. 2016. Identificación y caracterización hidrológica de lagunas en el noreste de la provincia de La Pampa. En: *Rel. Agua Subterránea-Superficial*. Eds: García, R., Rocha, V. y Dornes, P. Ed. Cient.Univ.-UNCa. Catamarca. Arg.: 213-220 ISBN: 978-987-661-225-8.
- Dunne T. y Leopold L.B. 1978. *Water in Invironmental Planning*. Macmillan. New York. EE. UU.
- Echaniz, S., Cabrera, G. y Vignatti, A. 2015. The Ecology of the Saline Lakes in the Semiarid Pampa Central (Argentina): Limnologic Characterization and Zooplankton of Utracán. *Scientific & Academic Publishing. Advances in Life Sciences*. Repositorio Institucional CONICET Digital. ISSN: 2163-1387.

Echaniz, S. y Vignatti, A. 2013. Trophic Status of Shallow Lakes of La Pampa (Argentina) and Its Relation with the Land Use in the Basin and Nutrient Internal Load. Scientific Research, Journal of Environmental Protection. Vol. 4 No. 11A. doi: 10.4236/jep.2013.411A007.

Echaniz, S., Vignatti, A., Paggi, S. B., y Paggi, J.C. 2010. Los Nutrientes en los Sedimentos de las Lagunas de La Pampa. Relación con la Granulometría y Uso de la Tierra. Tercer Congreso Pampeano del Agua. Secretaria de Recursos Hídricos, La Pampa. ISBN 978-987-22893-9-3.

Folguera, A. y Zárate, M. 2011. Neogene sedimentation in the Argentine foreland between 34°30'S and 41°S and its relation to the Andes evolution. En: Salfity, J.A. y Marquillas, R. (eds.), Cenozoic geology of the Central Andes of Argentina. SCS Publisher: 123-134, Salta.

Folguera, A. y Zárate, M. 2018. Late Miocene structure of the La Pampa central block. En Revista de la Asociación Geológica Argentina 75 (1): 115-133.

Giai, S.B. 1997. Rasgos hidrogeológicos de El Meauro, Provincia de La Pampa. Con especial referencia a su freaticimetría. 1er. Congreso Nacional de Hidrogeología, Actas 105:116. Bahía Blanca.

Giai, S. B. y J.O. Tullio. 1998. Características de los principales acuíferos de la provincia de La Pampa. Revista Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente, 12:51-68. Bs As.

Hammer, U.T. 1986. Saline Lake Ecosystems of the World. Monographiae Biologicae 59. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, 616pp.

Inventario de los Recursos Hídricos de La Pampa (IRHLP). 2015. Informe Final Etapa I. Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.

Kruse, E. y Zimmermann, E.D. 2002. Hidrogeología de grandes llanuras. Particularidades en la llanura pampeana (Argentina). En: Groundwater and Human Development. Bocanegra, E., Martínez, D., y Massone, H. (Eds.). 2025-2038. ISBN 987-544-063-99.

Lanzillotta, R. 2017. Hidrogeología de Valle Daza, Departamentos Loventué y Utracán, Provincia de La Pampa. Tesis de Maestría Recursos Hídricos. FCEyN – UNLPam. 99p.

Moscardi, C. 2010. Relación Hidrológica e Hidroquímica entre Lagunas y Acuíferos del Noreste de la Provincia de La Pampa, desde una Perspectiva Hidrológica - Ambiental. Tesis de Maestría en Ciencias Hídricas. Universidad Nacional de La Pampa.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). 1982. The OCDE Listo Social Indicators, Paris. Francia.

Pratts, P. 2011. Evaluación del Impacto Antrópico sobre la dinámica Hidrológica e Hidroquímica de la Laguna del Bajo Giuliani, Santa Rosa, La Pampa. Tesis de Maestría en Ciencias Hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. 104p.

Sala, J.M., González, N. y Kruse, E. 1983. Generalización hidrológica de la Provincia de Buenos Aires. In: Coloquio sobre Hidrología de Grandes Llanuras. II: 973-1009. PHI – UNESCO. Olavarría.

Salso, J.H. 1971. Estudio Hidrogeológico de la hoja 32j, General Acha La Pampa. Informe Administración Provincial del Agua. 45 p.

Secco, N., Dornes, P. y Aimar, S. 2013. Análisis de la respuesta hidrológica bajo distintos manejos en una zona agrícola de la provincia de La Pampa. XXIV Congreso Nacional del Agua. Anales Congreso, 38: 12 pp. San Juan, Argentina.

Schulz, C. 2004. Estudio Hidrogeológico del Área Central del Valle Argentino, La Pampa, Argentina. Tesis Doctoral en Ciencias Geológicas. Universidad Nacional de Cordoba.

Tóth, J., 1963. A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins. Vol. 68, N° 16.

UNLPam. 2015. Inventario de los Recursos Hídricos de La Pampa (IRHLP). 2015. Informe Final Etapa I. Dornes, P., Mariño, E. y Schulz, C. (coord.). Consultora UNLPam.

UNLPam. 2017. Caracterización hidrogeológica de la zona central de los departamentos Utracán y Atreuco. Schulz, C. (coord.). Informe Final Consultora UNLPam

Usunoff, E., Varni, M., Weinzettel, P. y R. Rivas. 1999. Hidrogeología de grandes llanuras: La pampa húmeda argentina. Boletín Geológico y Minero. 110 (4). 391-406. ITGE-IAH-UNESCO.