



Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Doctorado en Ciencias Aplicadas Mención Ambiente y Salud

Facultad de Ciencias Exactas

**REDES AMBIENTALES DE
MONITOREO DE LOS RECURSOS
HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL
ARROYO CHAPALEOFÚ, PARTIDO
DE TANDIL**

Trabajo de tesis

Doctorando: Lic. Bruno Dipardo

Directores: Dra. Rosario Soledad Barranquero

Dr. Marcelo Raúl Varni

Agradecimientos:

A los colaboradores en las salidas de campo: Gonzalo del Valle, Bethania Nicora, Nicolas Eloy Cisneros Basualdo, Florencia Jesús Zapelli, Nazareno Hernan Pitrelli, Augusto Mezzina, Beatriz Sosa, Ruben Donalisio, Cande Assis, Candelaria Corengia, Ariana Retribe, Julia Naveyra, Mariano Rosset, Darián Saraceno, Pamela Loustanou. A Rosario Barranquero por la dirección y el acompañamiento en las diferentes etapas del trabajo.

A Marcelo Varni por sus acertadas intervenciones.

A Ruben Donalisio y Fernando Güñirgo por la enorme ayuda con las entrevistas.

A todo el CINEA por el lugar de trabajo, el acompañamiento y la amistad.

A mi familia que no creo que llegue a leer esto.

A Roberto Landa por guiarme y acompañarme en el laboratorio.

A Miguel Quiroga por el asesoramiento.

A los entrevistados por la confianza y la amabilidad.

A los productores rurales y a la escuela rural por permitirme tomar muestras de agua en sus establecimientos.

A la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires por el financiamiento para este trabajo.

A los evaluadores Matías Bonansea, Claudia Feijóo y Etel Mara Matteoda por las sugerencias que mejoraron este trabajo.

A la Facultad de Ciencias Humanas.

A la Facultad de Ciencias Exactas.

Al Doctorado en Ciencias Aplicadas Mención ambiente y Salud, y a su comunidad.

A la Universidad pública y gratuita.

Índice

Resumen.....	13
Abstract.....	15
CAPÍTULO 1.....	17
INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. Fundamentación del tema.....	18
1.2. Pregunta de Investigación.....	19
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Propósito	20
CAPÍTULO 2.....	21
ANTECEDENTES Y MARCO DE REFERENCIA.....	21
2.1. Descripción del área de estudio	22
2.1.1. Situación y emplazamiento	22
2.1.2. Geomorfología e hidrogeología general del partido de Tandil.....	23
2.1.3. Clima.....	24
2.1.4. Suelos.....	27
2.1.5. Recursos hídricos superficiales pampeanos.....	29
2.1.6. Usos de suelo y sus impactos en la región pampeana rural	30
2.2. Antecedentes	31
2.2.1. Redes de monitoreo de recursos hídricos subterráneos	31
2.2.2. Redes de monitoreo de recursos hídricos superficiales	35
2.3. Marco Teórico.....	41
2.3.1. Conceptos Ambientales	41
2.3.2. Recursos hídricos como servicio ecosistémico.....	42
2.3.3. Noción de cuenca como área de estudio	43

2.3.4. Recursos hídricos subterráneos y superficiales	43
2.3.5. Definición de acuífero	44
2.3.6. Movimiento del agua subterránea	44
2.3.7. Parámetros geohidrológicos.....	44
2.3.8. Ley de Darcy.....	45
2.3.9. Hidroquímica	46
2.3.10. Procesos modificadores de la composición del agua y sus parámetros .	46
2.3.11. Evolución geoquímica	48
2.3.12. Ecosistemas lénticos y lóticos.....	48
2.3.13. Escurrimiento superficial y fluvial	48
2.3.14. Relación agua superficial-agua subterránea	49
2.3.15. Influencia antrópica sobre los recursos hídricos.....	49
2.3.16. Redes de monitoreo de recursos hídricos	50
2.4. Marco legal ambiental	51
2.4.1. Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires (LEY 12257).....	51
2.4.2. Ordenanza del HCD (Honorable Consejo Deliberante) del municipio de Tandil N° 17404/2021	52
CAPÍTULO 3.....	56
MARCO METODOLÓGICO.....	56
3.1. Integración metodológica	57
3.2. Delimitación del área de estudio.....	57
3.3. Diseño de la red de monitora de agua subterránea	58
3.4. Diseño de la red monitora de agua superficial.....	60
3.5. Caracterización del recurso hídrico subterráneo.....	61
3.5.1. Hidrodinámica	61
3.5.2. Hidroquímica	63
3.6. Caracterización del recurso hídrico superficial	66

3.6.1. Química y dinámica superficial	66
3.7. Caracterización morfométrica de la cuenca.....	69
3.8. Caracterización del medio socioeconómico.	70
3.8.1. Observación directa	70
3.8.2. Entrevistas.....	71
3.8.3. Relación entre manejo del recurso hídrico subterráneo y su calidad.....	73
3.8.4. Relación entre usos de suelo y calidad del recurso hídrico superficial ...	73
CAPÍTULO 4.....	74
RESULTADOS	74
4.1. Definición y extensión de la cuenca	75
4.2. Morfometría de la cuenca del arroyo Chapaleofú	75
4.3. Diseño de la red monitora.....	81
4.3.1. Definición de sitios de muestreo del recurso superficial y subterráneo ..	81
4.3.2. Definición de las variables de los medios físico y socioeconómico.....	90
4.4. Clima.....	90
4.4. Caracterización del recurso hídrico subterráneo.....	94
4.4.1. Hidrodinámica	94
4.4.2. Hidroquímica	96
4.4.3. Relación entre variables de manejo y calidad del agua subterránea.....	106
4.4.4. Red ambiental de monitoreo definitiva.....	110
4.4.5. Evaluación de las variaciones en el ciclo anual.....	111
4.5. Caracterización del recurso hídrico superficial.	117
4.5.1. Química superficial.....	117
4.5.2. Relación química entre el agua superficial y subterránea.....	120
4.5.1. Dinámica superficial	122
4.5.3. Relación entre usos de suelo y concentración de nitratos.....	122
4.5.4. Red monitora definitiva del recurso hídrico superficial	123

4.5.5. Análisis de las variaciones estacionales de la dinámica del recurso hídrico superficial.....	124
4.5.6. Análisis de las variaciones estacionales de la química del recurso hídrico superficial.....	125
4.5.6. Análisis de las entrevistas vinculadas al recurso hídrico superficial.....	132
4.6. Caracterización de los aspectos del medio socioeconómico con mayor impacto en los recursos hídricos.....	135
4.6.1. Análisis de las entrevistas.....	135
CAPITULO 5.....	155
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	155
5.1. Modelo conceptual que explica la situación ambiental del sistema.....	156
CAPÍTULO 6.....	172
CONCLUSIONES.....	172
6.1. Características morfométricas de la cuenca.....	173
6.2. Recurso hídrico subterráneo.....	173
6.3. Recurso hídrico superficial.....	175
6.4. Usos de suelo, conflictos y gestión estatal.....	178
6.5. Evaluación de la red monitora.....	179
6.6. Propiedades emergentes del sistema.....	180
BIBLIOGRAFÍA.....	181
Anexo 2.....	203
Datos fisicoquímicos de agua subterránea y superficial.....	203

Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio.....	23
Figura 2. Temperaturas medias mensuales de Tandil (1900-2000).....	25

Figura 3. Precipitación media mensual para la estación Aero Tandil (1900-2016) ..	27
Figura 4. Contenido máximo de agua útil.....	29
Figura 5. Macro Sistema Ambiental (Fernández, 2020).....	42
Figura 6. Estrategias básicas de integración metodológica.	57
Figura 7. GPS de campo utilizado en la investigación.	58
Figura 8. Mallado de la cuenca para la selección de perforaciones en la cuenca del arroyo Chapaleofú.	59
Figura 9. Arroyo Chapaleofú y sus tributarios, accesibilidad y ubicación en diferentes sectores de la cuenca.....	61
Figura 10. Medición de profundidad del nivel freático en una perforación de la cuenca del arroyo Chapaleofú.	62
Figura 11. Molino, sitio de muestreo 5.....	62
Figura 12. Bomba sumergible, sitio de muestreo 3.	63
Figura 13. Bomba superficial, sitio de muestreo 14.	63
Figura 14. Toma de muestra para análisis fisicoquímicos.....	64
Figura 15. Determinación de la concentración de bicarbonatos en agua superficial realizada en campo.	65
Figura 16. Determinación de la concentración de nitrato en el Laboratorio de análisis Bioquímicos y Minerales (LAByM)	65
Figura 17. Red monitorea de recursos hídricos superficiales para el censo preliminar (noviembre 2019) de la cuenca del arroyo Chapaleofú.....	67
Figura 18. Medición de ancho del arroyo Chapaleofú para la determinación de caudal.	68
Figura 19. Molinete utilizado para la determinación de caudal en el arroyo Chapaleofú.	68
Figura 20. Ejemplo de uso agrícola en lote de la perforación, sitio de muestreo 4... ..	71
<i>Figura 19. Delimitación de la cuenca del arroyo Chapaleofú considerada para el estudio y ubicación de sectores geomorfológicos.</i>	<i>75</i>

<i>Figura 22. Jerarquización del drenaje en la cuenca del arroyo Chapaleofú.</i>	77
<i>Figura 23. Curva hipsométrica de la cuenca del A° Chapaleofú y sus subcuencas.</i>	78
<i>Figura 24. Canalización del arroyo en zona de llanura, subcuenca del arroyo Chapaleofú.</i>	80
<i>Figura 25. Red monitora de agua subterránea para el censo preliminar (noviembre de 2019) de la cuenca del arroyo Chapaleofú.</i>	82
<i>Figura 26. Red monitora de agua superficial para el censo preliminar del arroyo Chapaleofú y sus tributarios.</i>	83
Figura 27. Sitio de muestreo A1. Zona de serranías.	83
Figura 28. Sitio de muestreo A2. Zona de serranías.	84
Figura 29. Sitio de muestreo A3. Zona de serranías.	84
Figura 30. Sitio de muestreo A4. Zona de serranías.	85
Figura 31. Sitio de muestreo A5. Zona de serranías.	85
Figura 32. Sitio de muestreo A6. Zona de serranías.	86
Figura 33. Sitio de muestreo A7. Zona de serranías.	86
Figura 34. Sitio de muestreo A8. Zona de serranías.	87
Figura 35. Sitio de muestreo A9. Zona de serranías.	87
Figura 36. Vista de la unión del A° Chapaleofú Chico y Chapaleofú Grande.	88
Figura 37. Sitio de muestreo A10. Zona de Piedemonte	88
Figura 38. Sitio de muestreo A11. Zona de llanura.	89
Figura 39. Sitio de muestreo A12. Zona de llanura.	89
Figura 40. Evolución de la precipitación mensual en los años 2019, 2020 y 2021 para la Estación Aero Tandil.	92
<i>Figura 41. Mapa equipotencial de la cuenca del arroyo Chapaleofú (noviembre 2019)</i>	96
<i>Figura 42. Mapa de isoconductividad eléctrica del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del arroyo Chapaleofú (Censo preliminar, noviembre de 2019)</i>	98

<i>Figura 43. Mapa de iso-concentración de cloruros del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)</i>	99
<i>Figura 44. Diagrama de Piper de la zona de serranías en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)</i>	100
<i>Figura 45. Diagrama de Piper de la zona de piedemonte en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)</i>	101
<i>Figura 46. Diagrama de Piper de la zona de llanura en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)</i>	102
<i>Figura 47. Concentración de nitratos en la cuenca del A° Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)</i>	105
<i>Figura 48. BoxPlot de concentración de nitratos para el recurso hídrico subterráneo de la cuenca del arroyo Chapaleofú.</i>	106
<i>Figura 49. Red monitorea definitiva de agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú para los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021)</i>	111
<i>Figura 50. Evolución estacional de la conductividad eléctrica en las perforaciones con mayor variación durante los muestreo estacionales del recurso hídrico subterráneo de la cuenca del arroyo Chapaleofú.</i>	113
<i>Figura 51. Evolución de la concentración de sulfato en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú durante los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021)</i>	114
<i>Figura 52. Evolución de la concentración de bicarbonato en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú durante los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021)</i>	114
<i>Figura 53. Evolución de la concentración de sodio en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú durante los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021).</i>	115
<i>Figura 54. Evolución de la concentración de calcio en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú durante los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021).</i>	116

<i>Figura 55. Evolución de la concentración de nitrato en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú durante los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021).</i>	117
<i>Figura 56. Diagrama de Piper para el recurso hídrico superficial del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)</i>	121
Figura 57. Caudales (m ³ /seg) determinados en los sitios de muestreo del recurso hídrico superficial del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019).....	122
<i>Figura 58. Red monitorea definitiva del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú para los muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021).</i>	124
<i>Figura 59. Variaciones estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de caudal por cada sitio de muestreo del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.</i>	125
Figura 60. Evolución estacional estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la conductividad eléctrica del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.	127
Figura 61. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de cloruro en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.	128
Figura 62. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de bicarbonatos en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.	128
Figura 63. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de sulfatos en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú	129
Figura 64. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de nitrato en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.	129
Figura 65. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de calcio en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.	130

Figura 66. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de magnesio en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.	130
Figura 67. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de sodio en el recurso superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.....	131
Figura 68. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de potasio en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.	131
<i>Figura 69. Basural lindero al arroyo.</i>	<i>134</i>
<i>Figura 70. Calendario de lluvias, sitio de muestreo 3.</i>	<i>140</i>
<i>Figura 71. Mural en escuela rural de una cuenca rural del arroyo Chapaleofú contra agroquímicos.</i>	<i>152</i>
Figura 72. Corte hidrogeológico SO-NE del área de estudio.	156
Figura 73. Representación del modelo conceptual de la cuenca del arroyo Chapaleofú.	171
<i>Figura 74. Cartelera indicativa del arroyo Chapaleofú sobre la ruta Provincial 74.</i>	<i>177</i>

Índice de Tablas

Tabla 1. Superficie de las cuencas del partido de Tandil.....	22
Tabla 2. Balance hídrico modular del partido de Tandil (1900-2016).	26
Tabla 3. Distancia de exclusión y amortiguamiento por cada zona determinada.	53
Tabla 4. Variables tenidas en cuenta en la selección de perforaciones de la cuenca del arroyo Chapaleofú y puntajes asignados a cada opción de respuesta a la variable.	60
Tabla 5. Parámetros morfométricos determinados en el presente estudio para la cuenca del arroyo Chapaleofú.	70
<i>Tabla 6. Parámetros morfométricos determinados en la cuenca del A° Chapaleofú y sus subcuencas.</i>	<i>79</i>

<i>Tabla 7. Concentración de las precipitaciones a lo largo del periodo de estudio (2019-2021) para la Estación Aero Tandil.</i>	91
<i>Tabla 8. Balance hídrico del año 2019 (Estación Aero Tandil)</i>	93
<i>Tabla 9. Balance hídrico del año 2020 (Estación Aero Tandil).</i>	93
<i>Tabla 10. Balance hídrico del año 2021 (Estación Aero Tandil)</i>	94
Tabla 11. Boxplot de variables fisicoquímicas del recurso hídrico subterráneo, censo preliminar (n=32) de la cuenca del arroyo Chapaleofú	97
Tabla 12. Matriz de correlaciones de parámetros fisicoquímicos del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del arroyo Chapaleofú	103
<i>Tabla 13. Criterio para clasificación de agua subterránea (CAA).</i>	107
<i>Tabla 14. Clasificación de las muestras de agua subterránea de la red monitora de la cuenca del arroyo Chapaleofú (n=32) (censo preliminar, noviembre de 2019).</i>	107
<i>Tabla 15. Mantenimiento de las perforaciones censadas en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019).</i>	108
<i>Tabla 16. Presencia de encamisado en las perforaciones censadas de la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019).</i>	108
<i>Tabla 17. Uso de suelo en establecimientos muestreados en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019).</i>	108
<i>Tabla 18. Uso de suelo en el lote de la perforación de los establecimientos muestreados en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019).</i>	109
<i>Tabla 19. Análisis de la varianza entre la concentración de nitrato y cada una de las variables de manejo del recurso (Censo preliminar, noviembre de 2019).</i>	110
<i>Tabla 20. Sitios de muestreo renombrados para la red definitiva de muestreo estacional del agua subterránea en la cuenca del arroyo Chapaleofú.</i>	112
Tabla 21. BoxPlot para los datos fisicoquímicos (n=12) del muestro de agua superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)	118
Tabla 22. Matriz de correlación entre los parámetros fisicoquímicos superficiales en la ceunca del arroyo Chapaleofú (Censo Preliminar, noviembre 2022).....	119

<i>Tabla 23. Sitios de muestreo del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú renombrados.</i>	123
<i>Tabla 24. Variaciones estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de caudales (m³/seg) en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.</i>	125
Tabla 25. Evolución de la temperatura (°C) en las diferentes campañas de muestreo (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.....	126
Tabla 26. Evolución del pH durante las campañas de muestreo (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.	127
<i>Tabla 27. Usos de suelo identificados en cada sitio de muestro (censo preliminar, noviembre de 2019) por sector geomorfológico en la cuenca del arroyo Chapaleofú.</i> 144	
Tabla 28. Datos fisicoquímicos subterráneos (censo preliminar).....	204
Tabla 29. Datos fisicoquímicos de agua subterránea (Diciembre 2020)	205
Tabla 30. Datos fisicoquímicos agua subterránea (marzo de 2021)	206
Tabla 31. Datos fisicoquímicos de agua subterránea (Junio 2021)	207
Tabla 32. Datos fisicoquímicos de agua subterránea (septiembre 2021)	208
Tabla 33. Datos fisicoquímicos del agua superficial (Censo preliminar).....	209
Tabla 34. Datos fisicoquímicos del agua superficial (diciembre 2020)	209
<i>Tabla 35. Datos fisicoquímicos de agua superficial (marzo 2021)</i>	210
Tabla 36. Datos fisicoquímicos de agua superficial (junio 2021)	210
Tabla 37. Datos fisicoquímicos de agua subterránea (septiembre de 2021).....	211

Resumen

Según la Organización Mundial de la Salud (2006) el acceso al agua potable segura es esencial para la salud, un derecho humano básico y una política efectiva para la protección sanitaria de la población. El agotamiento y degradación de la calidad de los recursos hídricos es un problema creciente en muchas regiones (Azhar et al., 2015; Tirkey et al., 2017; Singhal et al., 2020). La elaboración de redes monitoras de recursos hídricos y su información generada es vital para el manejo sustentable del recurso (Pessolano et al., 2012; Reyes Gomes et al., 2017; Tian et al., 2019). Esta tesis tuvo como objeto de estudio la cuenca rural del arroyo Chapaleofú, ubicada en el partido de Tandil, provincia de Buenos Aires, Argentina. Su objetivo general fue diseñar, elaborar y evaluar una red ambiental de monitoreo de los recursos hídricos subterráneos y superficiales en la cuenca del arroyo Chapaleofú, incorporando variables del medio natural y socioeconómico. La metodología incluyó un registro de perforaciones; una selección de perforaciones; un censo preliminar en sitios de muestreo de agua subterránea (acuífero libre) y superficial; campañas de muestreo estacionales a lo largo de un año en ambos recursos hídricos y de las características socioeconómicas de su entorno; análisis en laboratorio de las muestras; entrevistas a los productores rurales; uso de sistemas de información geográfica; y uso de herramientas y programas estadísticos.

La evolución del agua subterránea fue de bicarbonatada cálcica a bicarbonatada sódica. Se hallaron concentraciones de nitratos superiores al límite establecido en el Código Alimentario Argentino (CAA) que es de 45mg/l. Las variaciones estacionales de las concentraciones de nitrato estuvieron dadas por fenómenos de dilución. La actividad tambera, la cercanía de pozos ciegos a perforaciones y la acumulación de ganado sobre la zona de la perforación fueron identificadas como las potenciales causas de elevadas cargas de nitratos en cada uno de los sitios. La dirección del flujo subterráneo es hacia el Noreste, acompañando la topografía superficial. No se encontró relación estadísticamente significativa (p -valores=0,3238; 0,6064; 0,4450; 0,4449) entre las variables de manejo analizadas en las perforaciones (mantenimiento, encamisado, uso de suelo en el lote de la perforación y uso de suelo en el establecimiento) y la concentración de nitratos. La hidroquímica del recurso hídrico superficial presentó la misma evolución que en el recurso hídrico subterráneo: de bicarbonatada cálcica a bicarbonatada sódica. Los mayores caudales se encontraron en la zona de llanuras (aguas abajo) donde el arroyo es efluente, al igual que en la zona de piedemonte. En el único sector geomorfológico en el

que algunos tramos resultaron ser influyentes fue en la zona de serranías donde se presentaron algunos cursos efímeros. Las concentraciones de nitratos no superaron el límite máximo establecido por el CAA en ninguno de los sitios de muestreo en agua superficial. Las variaciones de las concentraciones de este ión estuvieron relacionadas con el fenómeno de dilución. No se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre la concentración de nitrato en el recurso hídrico superficial y los usos de suelo adyacentes a los sitios de muestreo ($p\text{-valor}=0,5871$).

El uso de suelo agrícola en la cuenca es predominante en el sector de serranías y se equilibra con el uso ganadero en el sector de piedemonte. En el sector de llanuras predomina el uso de suelo ganadero. Esta distribución se debe a las características edáficas de cada uno de los compartimientos geomorfológicos

Durante las entrevistas realizadas se detectó una preocupación en la población con respecto a los agroquímicos y sus efectos. La aplicación de agroquímicos en zonas prohibidas por la legislación ha ocasionado conflictos que llegaron hasta los medios de comunicación e instancias judiciales. Los productores rurales califican de manera negativa la acción de los agroquímicos sobre la salud humana y el ambiente pero reconocen tener que aplicarlos por una cuestión de rendimiento. El principal factor regulador a la hora de realizar aplicaciones es el precio de los agroquímicos, lo que ha llevado a la población a evitar una de las dos fumigadas anuales, recurriendo a trabajar la tierra mediante arado, previo al período de siembra.

Otra problemática detectada fueron las inundaciones, las cuales se relacionan directamente con la morfología de la cuenca. La misma presenta características de una cuenca triangular, con dos vértices en la cabecera, afluentes de similar longitud y sincronismo en la llegada, que pueden provocar crecidas significativas en las zonas de piedemonte y llanura, que presentan una escasa pendiente.

Las entrevistas realizadas evidenciaron las prácticas que se realizan en el arroyo que van desde recreativas hasta volcado de basura y lavado de equipos de fumigación.

Se generó información que se espera sea útil para la elaboración de planes, programas y proyectos que tiendan a una gestión sustentable de los recursos hídricos.

Abstract

According to the World Health Organization (2006) access to safe drinking water is essential for health, a basic human right and an effective policy for the health protection of the population. The depletion and degradation of the quality of water resources is a growing problem in many regions (Azhar et al., 2015; Tirkey et al., 2017; Singhal et al., 2020). The development of water resource monitoring networks and their generated information is vital for the sustainable management of the resource (Pessolano et al., 2012; Reyes Gomes et al., 2017; Tian et al., 2019). This thesis had as object of study the rural basin of the Chapaleofú stream, located in the district of Tandil, province of Buenos Aires, Argentina. Its general objective was to design, prepare, and evaluate an environmental monitoring network for underground and surface water resources in the Chapaleofú stream basin, incorporating natural and socioeconomic variables. The methodology included a preliminary census of drilling and sampling sites in streams; seasonal sampling campaigns throughout a year in both water resources and the socioeconomic characteristics of their environment; laboratory analysis of samples; interviews with rural producers; use of geographic information systems; and use of statistical tools and programs.

The evolution of groundwater was from calcium bicarbonate to sodium bicarbonate. Nitrate concentrations were found above the limit established in the Argentine Food Code (CAA) which is 45mg/l. The seasonal variations of the nitrate concentrations were given by dilution phenomena. Dairy activity, the proximity of blind wells with perforations and the accumulation of cattle on the perforation zone were identified as the potential causes of high nitrate loads in each one of the sites. The direction of the underground flow is towards the Northeast, following the surface topography. No statistically significant relationship was found between the management variables analyzed in the drilling (maintenance, jacketing, land use in the drilling lot and land use in the establishment) and the nitrate concentration. The hydrochemistry of the surface water resource presented the same evolution as in the underground water resource: from calcium bicarbonate to sodium bicarbonate. The highest flows were found in the plains area (downstream) where the stream is effluent, as well as in the foothills area. In the only geomorphological sector where in some sections the watercourses proved to be influential, it was in the area of mountains where some ephemeral courses appeared. Nitrate concentrations did not exceed the maximum limit established by the CAA in any of the surface water sampling

sites. Variations in the concentrations of this ion were related to the dilution phenomenon. No statistically significant relationships were found between the nitrate concentration in the surface water resource and the land uses adjacent to the sampling sites.

The use of agricultural land in the basin is predominant in the mountainous sector and is balanced by livestock use in the foothills sector. The use of livestock land predominates in the plains sector. This distribution is due to the edaphic characteristics of each of the geomorphological compartments.

During the interviews carried out, concern was detected in the population regarding agrochemicals and their effects. The application of agrochemicals in areas prohibited by law has caused conflicts that reached the media and judicial authorities. Rural producers rate negatively the action of agrochemicals on human health and the environment but acknowledge having to apply them for a yield issue. The main regulatory factor when making applications is the price of agrochemicals, which has led the population to avoid one of the two annual fumigations by resorting to plowing the land prior to the sowing period.

Another problem in the basin is flooding, which is directly related to the morphology of the basin. It presents characteristics of a triangular basin, with two vertices at the head, tributaries of similar length and synchronism at arrival, which can cause significant flooding in the foothills and plains, which have a slight slope.

The interviews carried out evidenced the practices that are carried out in the stream that range from recreational to garbage disposal and washing of fumigation equipment.

Information was generated that is expected to be useful for the elaboration of plans, programs and projects that tend to a sustainable management of water resources.



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

“Los campos están vacíos, ya no hay gente como antes”. Productor rural entrevistado para esta tesis.

1.1. Fundamentación del tema

A partir de la Conferencia sobre el Agua y el Medio Ambiente, llevada a cabo en Dublín en 1992 (ICWE, 1992), se comenzó a reconocer internacionalmente la importancia del agua y su manejo adecuado, sirviendo este hito como inicio para comenzar a proponer acciones y medidas específicas (Andrade Pérez y Navarrete Le Blas, 2004). Desde ese momento el interés por los recursos hídricos evolucionó y hoy en día resulta innegable que son imprescindibles para la vida en el planeta; la comunidad internacional acuerda respecto a los principios para su manejo sustentable, contemplando el equilibrio ecológico, la equidad social y la eficiencia económica, para la conservación en cantidad y calidad para las generaciones futuras (GWP, 2000; Cap-Net-GWP-UNDP, 2005).

La importancia/relevancia del estudio de los recursos hídricos radica en los servicios ecosistémicos que proveen los mismos y en su importante afectación por las actividades antrópicas; el estudio realizado por el World Resources Institute de Washington (Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 2005) indica que cerca de las dos terceras partes de todos los servicios ecosistémicos que brinda la naturaleza a la humanidad están degradándose en el ámbito mundial. Guerrero et al. (2006) señalan que entre los principales servicios ecosistémicos que se están degradando se encuentran aquellos que derivan de las cuencas hidrográficas y los humedales.

A pesar de todo el camino recorrido en la temática, los programas y proyectos gubernamentales continúan estando alejados de los objetivos del manejo sustentable de los recursos hídricos. Particularmente en América Latina se considera que una de las razones que explica esta situación es el escaso nivel de conocimiento respecto al funcionamiento del sistema hídrico (Dourojeanni y Jouravlev, 2002; Jouravlev, 2003). Considerando esto, se identifican una serie de aspectos sobre los que es necesario continuar trabajando para aportar a dicho manejo: a) ahondar en el conocimiento de los componentes del ciclo hidrológico y sus interrelaciones, a escala tanto local como regional; b) establecer redes de monitoreo continuo de aguas superficiales y subterráneas que permitan llevar registro de las variaciones temporales de sus parámetros más relevantes; c) diseñar las redes de monitoreo considerando el abordaje ambiental de los recursos hídricos, es decir integrando las variables de los subsistemas natural y socioeconómico que explican su funcionamiento como sistema; d) utilizar herramientas que permitan corroborar los modelos conceptuales ambientales a los que,

lamentablemente, aún se arriba con datos escasos e imprecisos por falta de recursos; y e) construir mecanismos de trabajo coordinado con todos los actores involucrados en el manejo de los recursos hídricos para que los resultados de las investigaciones formen parte de los insumos utilizados en el armado de programas y proyectos gubernamentales, y en su puesta en funcionamiento.

Concretamente el presente estudio contribuye al conocimiento ambiental del recurso hídrico en el partido de Tandil, en general, y específicamente en la cuenca del arroyo Chapaleofú.

En línea con la pretensión de un abordaje ambiental de los recursos hídricos, se considera que la complejidad del sistema implica un cierto grado de incertidumbre inevitable que sólo podemos disminuir con la continuidad en el tiempo de los registros y análisis de datos. En ello radica la importancia de las redes de monitoreo continuo, a las cuales se contribuirá de forma directa a través de esta tesis doctoral, con el diseño de una red que contemple variables del subsistema natural y socioeconómico en una cuenca, el registro de datos en dicha red, y la comparación con otras cuencas para un propósito regional, que supere el alcance a nivel de cuenca. Respecto a la proyección espacial, es importante destacar que este trabajo a nivel regional contribuye a su vez a objetivos consensuados a nivel provincial como son la territorialización de los problemas ambientales y el mejoramiento de la generación y disponibilidad de datos para su comprensión integral. Particularmente, esta tesis doctoral es una contribución al Grupo de Hidrología de la Red de Universidades Bonaerenses de la Provincia de Buenos Aires (RUNBO), cuyo objetivo es “coordinar esfuerzos en la mejora del conocimiento con la elaboración de análisis y modelos hidrológicos regionales para una gestión integrada de los recursos hídricos bonaerenses”; considerando especialmente dos de sus comisiones de trabajo: “Redes de monitoreo y banco de datos hidrogeológicos”; y “Procesos hidrológicos en el manejo de cuencas hidrográficas”.

1.2. Pregunta de Investigación

En este contexto, la pregunta que guiará la investigación será: ¿Qué características debe tener una red de monitoreo ambiental de recursos hídricos para la cuenca del arroyo Chapaleofú, teniendo en cuenta las particularidades naturales de cuencas del faldeo Norte del sistema de Tandilia y la influencia del medio socioeconómico?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar, elaborar y evaluar una red ambiental de monitoreo de los recursos hídricos subterráneos y superficiales en la cuenca del arroyo Chapaleofú, incorporando variables del medio natural y del socioeconómico.

1.3.2. Objetivos específicos

a) Diseñar la red monitorea a partir de la definición de los sitios de muestreo del recurso hídrico superficial y subterráneo, y las variables del medio natural y socioeconómico que serán relevadas en la cuenca del arroyo Chapaleofú.

b) Caracterizar la hidrodinámica e hidroquímica del recurso subterráneo.

c) Caracterizar la dinámica y química del recurso superficial.

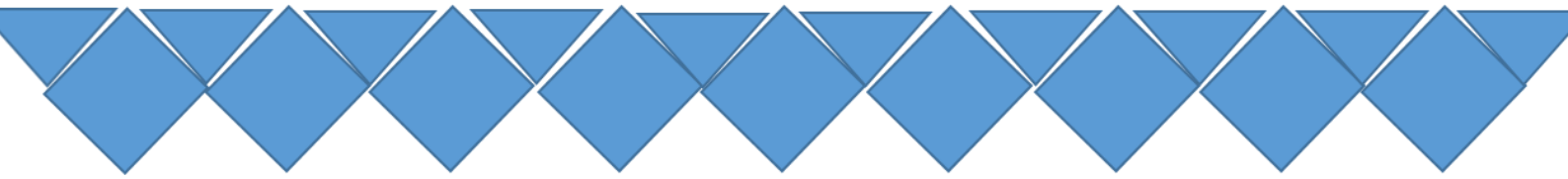
d) Caracterizar los aspectos del medio socioeconómico con mayor impacto en los recursos hídricos.

e) Plantear un modelo conceptual que explique la situación ambiental del sistema a nivel de cuenca.

f) Evaluar los criterios establecidos en el diseño de esta red monitorea y su aplicación a otras cuencas del faldeo Norte del sistema de Tandilia.

1.4. Propósito

Generar información para la elaboración de planes, programas y proyectos relacionados al uso y monitoreo de los recursos hídricos del Partido de Tandil.



CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES Y MARCO DE REFERENCIA

“Las escuelas rurales hemos quedado como islas entre los cultivos” Directora de escuela rural entrevistada para esta tesis.



2.1. Descripción del área de estudio

2.1.1. Situación y emplazamiento

El partido de Tandil, localizado al centro-sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina), cuenta con ocho cuencas hidrográficas (Figura 1), cuyos arroyos tienen sus nacientes en los ambientes serranos del sistema de Tandilia. Estas cuencas presentan una extensión regional, es decir que sus límites están por fuera de los correspondientes al partido. El área de estudio específica de esta tesis doctoral se restringió a la cuenca del arroyo Chapaleofú dentro del partido de Tandil, es decir que la continuidad de la cuenca en el límite Noreste hacia la ciudad de Rauch no fue tomada en cuenta. Dicha cuenca es la de mayor extensión del partido (Tabla 1) y presenta dos subcuencas en sus cabeceras: la del arroyo Chapaleofú Chico y la del arroyo Chapaleofú Grande.

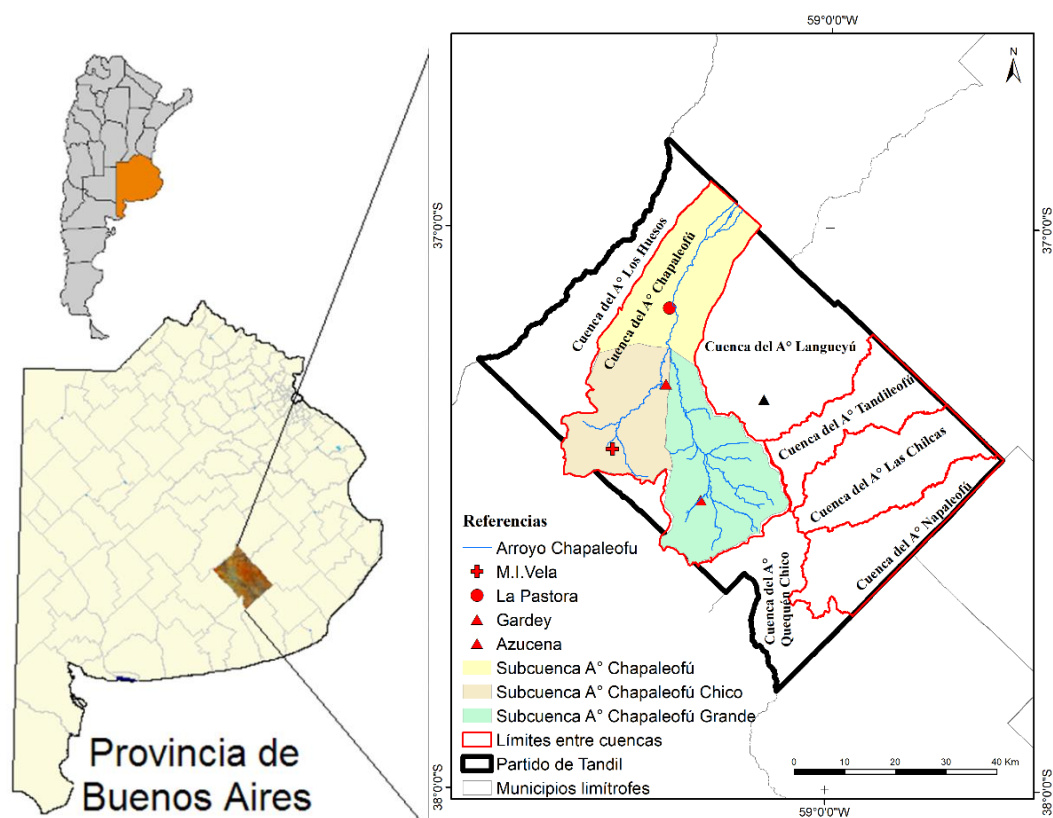
Tabla 1. Superficie de las cuencas del partido de Tandil.

Cuenca	Superficie (km ²)
A° de Los Huesos	628
A° Chapaleofú	1484
A° Langueyú	687
A° El Perdido	193
A° Tandileofú	314
A° Las Chilcas	461
A° Napaleofú	723
A° Quequén Chico	346

Fuente: Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005).

En el área de estudio se encuentran los asentamientos de María Ignacia (Estación Vela), Gardey, Azucena y La Pastora, que presentan las características típicas de poblaciones rurales, como el desarrollo económico vinculado a actividades agropecuarias.

Figura 1. Área de estudio



Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Geomorfología e hidrogeología general del partido de Tandil

El acuífero vinculado a este estudio es de tipo libre y se encuentra dentro de la región hidrogeológica serrana, que se corresponde con los dos sistemas serranos de la provincia, Tandilia y Ventania (González, 2005). La secuencia hidrolitológica que aloja al sistema geohidroológico consta de tres unidades geológicas:

- ✓ Pospampeano+Pampeano: cuya litología se corresponde con arenas eólicas, fluviales, limos y limos loessoides.
- ✓ Pampeano: su litología integra limos loessoides y limos arenosos.
- ✓ Basamento Hidrogeológico: formado por cuarcitas, lutitas, arcilitas, dolomitas, granitos, gneises y milonitas.

Los sedimentos Pampeanos mencionados conforman la cubierta sedimentaria Cenozoica sobrepuesta al basamento cristalino, la cual corresponde al medio poroso en el que se emplaza el sistema acuífero estudiado. El límite en profundidad del sistema está determinado por el basamento cristalino que funciona como hidroapoyo regional. El

espesor de la capa acuífera varía desde un mínimo en los sectores de afloramiento del basamento, incrementándose en dirección Noreste (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005). Los sectores geomorfológicos definidos para el partido de Tandil (serranías, piedemonte y llanura) encuentran su correspondencia en el área de estudio. El sector de serranías se caracteriza por la presencia de sierras, cerros aislados y valles, relacionados con la presencia de bloques elevados por fallas directas. En esta área se encuentran las más altas pendientes y los valles de los cursos de aguas se hallan bien definidos. La segunda unidad se ubica en forma continua a la primera, es reconocida como piedemonte, se caracteriza por tener un ángulo de pendiente más suave que la anterior. Se observa la presencia de bloques de gran tamaño y conos aluviales. El drenaje presenta un diseño distributivo. La última unidad morfológica es la llanura, reconocida hacia el NE por la presencia de pendientes muy suaves. Es una zona de acumulación y transporte de materiales más finos, con fuerte predominio de sedimentos de origen eólico. El drenaje es poco definido y pobremente integrado, con cauces estrechos y cursos temporarios que en ciertos casos desaparecen en suaves depresiones (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005). Ruiz de Galarreta et al. (2011) ubicaron los sectores geomorfológicos de la cuenca del arroyo Languyú de la siguiente manera: por encima de los 170 msnm se ubicaron las serranías; entre los 170 msnm y 140 msnm el piedemonte; y por debajo de los 140 msnm la llanura. Estos criterios serán utilizados a la hora de definir los sectores geomorfológicos de la cuenca del arroyo Chapaleofú.

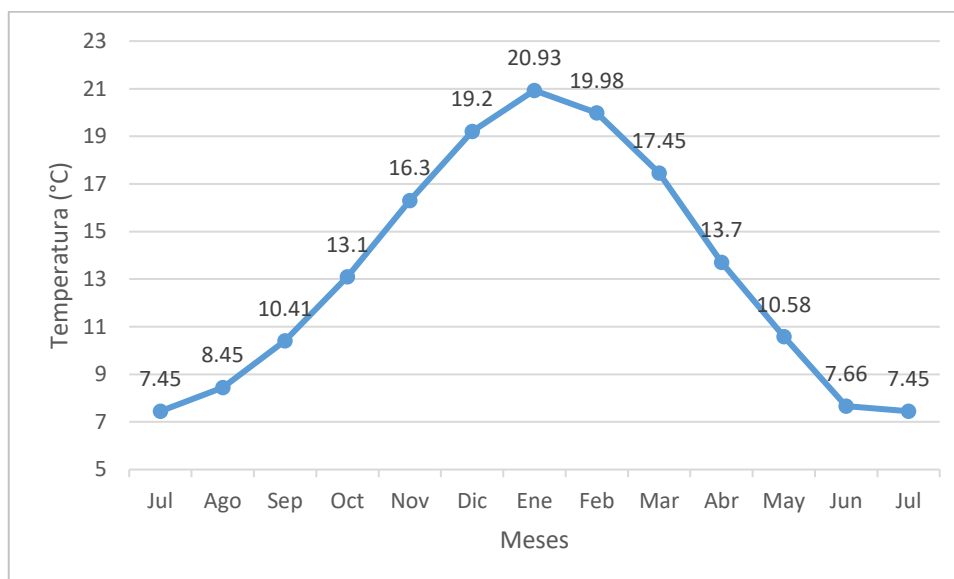
En términos de aprovechamiento, el agua subterránea que se encuentra únicamente en el acuífero libre en el partido de Tandil, cobra una gran relevancia ya que es la fuente de suministro para actividades rurales y urbanas. Es por esta razón que es necesario establecer una rica base de datos acerca del recurso hídrico subterráneo en las diferentes cuencas del partido.

2.1.3. Clima

Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005) evaluaron el clima de la ciudad de Tandil con datos de la Estación Tandil Aero (175 msnm, 37° 23' S y 59° 25' O), considerando los balances climáticos de Thornthwaite y Mather (1957); de acuerdo a ellos el clima de Tandil puede ser tipificado como subhúmedo-húmedo, mesotermal, con un déficit de agua poco significativo y veranos frescos, para el período 1900-2000. Sin embargo, analizando datos de los últimos 30 años, se podría tipificar como de tipo climático húmedo, con igual eficiencia térmica e índice de concentración estival.

Respecto a la temperatura promedio mensual, si observamos su distribución a lo largo del año vemos que es de tipo normal (Figura 2). Siendo los meses más cálidos diciembre, enero y febrero, y los más fríos junio, julio y agosto. Las temperaturas máximas absolutas oscilan entre 37 y 39° C y las mínimas absolutas entre -6 y -7° C.

Figura 2. Temperaturas medias mensuales de Tandil (1900-2000)



Fuente: adaptado de Ruiz de Galarretea y Banda Noriega (2005).

Cabe destacar que las precipitaciones características en Tandil son debidas al frente frío que avanza de SO a NE o del O al E haciendo retroceder al aire cálido, por lo cual éste asciende gracias al efecto de cuña del aire frío. Ante este fenómeno además de precipitaciones suelen producirse tormentas eléctricas.

El balance hídrico modular para el período 1900-2016 (Tabla 2) muestra un valor medio anual de precipitación (P) de 849 mm, una evapotranspiración real de 703 mm y una evapotranspiración potencial de 729 mm. Como se observa en la Figura 3 el mes que presenta mayores precipitaciones históricas es marzo (98 mm) y el de menor cantidad de precipitaciones es julio (43 mm). El balance modular presenta un déficit poco significativo (26 mm) correspondiente a los meses de diciembre, enero, febrero. Los excesos hídricos suman 146 mm y se distribuyen en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre. Existe un predominio de excesos hídricos durante la mayor parte del año, excepto en el período estival, donde la evapotranspiración supera el total precipitado (Cifuentes, 2020). Cifuentes (2020) utilizó un almacenaje de 100 mm debido a que su trabajo fue realizado en la cabecera de la cuenca del arroyo

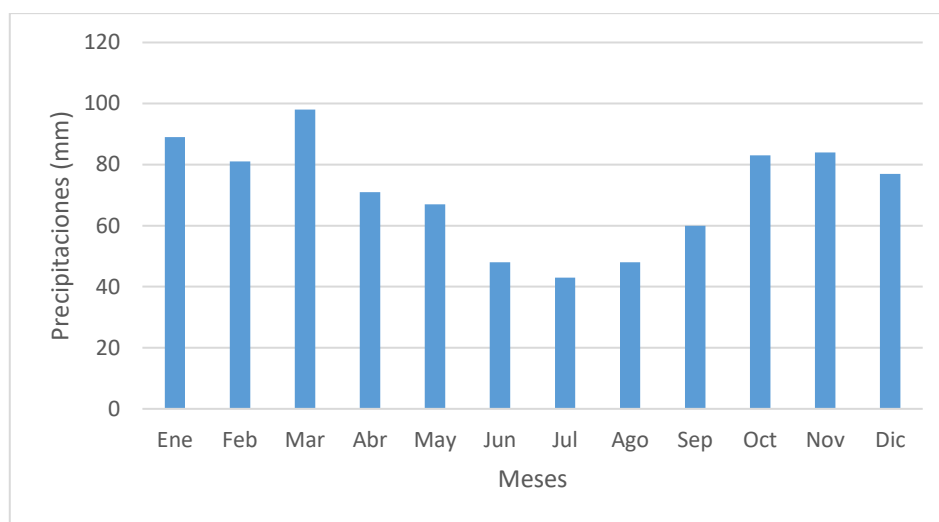
Langueyú, sector que presenta afloramientos rocosos y escaso desarrollo de la capa del suelo. En el presente estudio se utilizó una capacidad de almacenaje de 150 mm ya que como se verá en el apartado 2.1.4, la mayor parte del área de la cuenca presenta un contenido máximo de agua útil de entre 125 y 150 mm. En trabajos antecedentes que incorporaron todo el partido de Tandil (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005) y que tienen en cuenta los sectores geomorfológicos de serranías, piedemonte y llanura a nivel de cuenca (Barranquero, 2015) también se utilizó un almacenaje de 150 mm.

Tabla 2. Balance hídrico modular del partido de Tandil (1900-2016).

Precipitación (P)	89	81	98	71	67	48	43	48	60	83	84	77	849
Evapotranspiración (EVTP)	123	97	83	51	32	17	18	23	36	59	80	110	729
P-EVPT	-34	-16	15	20	35	31	25	25	24	24	4	-33	
Perdida potencial	-67	-84	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-33
Almacenaje	95	84	99	119	150	150	150	150	150	150	150	120	
Diferencia de almacenaje	-55	-11	15	20	31	0	0	0	0	0	0	-30	
Déficit	21	5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	3	29
Excesos	----	----	----	----	4	31	25	25	24	24	4	----	137
EVTP real	144	92	83	51	32	17	18	23	36	59	80	107	742

Fuente: modificado de Cifuentes, 2020.

Figura 3. Precipitación media mensual para la estación Aero Tandil (1900-2016)



Fuente: modificada de Cifuentes, 2020.

2.1.4. Suelos

En el partido de Tandil se encuentran representadas catorce unidades cartográficas (INTA, 1990). El mayor porcentaje de la superficie (26%) corresponde a la asociación del argiudol típico somero e inclinado y el hapludol petrocálcico. El 18% también está cubierto por una asociación de tres suelos: argiudol típico somero inclinado, argiudol acuico y el hapludol petrocálcico. Por último, un 7% de la superficie del partido corresponde a la asociación característica del sector serrano, constituida por rocas y el hapludol lítico.

En la cuenca del arroyo Chapaleofú, de acuerdo a la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1999), a nivel de orden, el 96% de los suelos son molisoles. Este tipo de suelos se caracterizan por poseer un horizonte diagnóstico superficial denominado epipedón mólico. Para definir este horizonte diagnóstico es necesario que contenga más de 1% de materia orgánica cuando el material del horizonte se mezcla hasta una profundidad de 18 cm; otras cualidades características son: colores con un grado de pureza de 5,5 en seco y 3,5 en húmedo, estructura que no sea masiva ni dura a la vez, y una saturación con bases que supere el 50% de la capacidad de intercambio catiónico.

Con mucha menor representación, también a nivel de orden, se encuentran los alfisoles; que son suelos minerales con un horizonte argílico que posee un porcentaje de saturación de bases de medio a alto. Contienen una importante reserva de nutrientes

disponibles para las plantas que determina su elevada fertilidad para obtener cultivos de ciclo corto y forrajes.

A nivel de suborden, dominan los "udoles" (93% de la superficie), es decir molisoles con régimen údico de humedad, que presentan un horizonte superficial oscuro y rico en materia orgánica (epipedón mólico), y también otros horizontes subsuperficiales alterados o enriquecidos en arcillas (horizontes cámbico y argílico).

Otro grupo importante a nivel de suborden es el de los "acuoles" (4% de la superficie). Se caracterizan por presentar un régimen ácuico de humedad, típico de suelos con drenaje deficiente que determina su saturación y la presencia de condiciones reductoras en determinados períodos; este suborden predomina en el área de la llanura, hacia el NE de la cuenca. Son suelos desarrollados en sectores con baja capacidad de eliminación de excesos de agua y que se hallan limitados para el desarrollo de la agricultura (Zulaica, 2005).

Falasca et al. (2008) han realizado un trabajo de representación cartográfica de distintas variables importantes para caracterizar los suelos del partido de Tandil y, principalmente, para definir su aptitud agropecuaria, utilizando los mapas del Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA, 1989) y los datos analíticos del Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires (INTA, 1990). De este análisis se describen a continuación algunos resultados de interés a nivel de la cuenca del arroyo Chapaleofú.

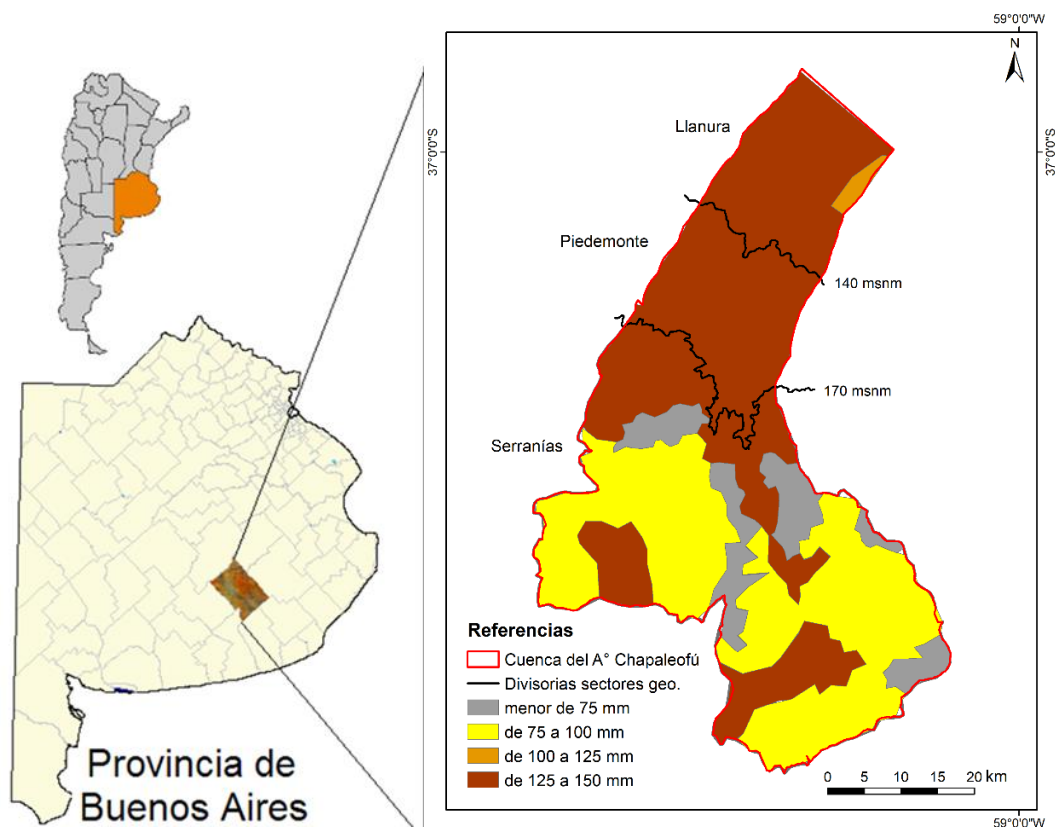
El espesor del horizonte superficial es una de las variables importantes para definir el tipo de uso para el cual el suelo es apto. En la cuenca se presentan sectores con menos de 20 cm en el Centro Oeste; gran parte tiene espesores entre 21 y 30 cm con aptitud agrícola-ganadera, y solamente un pequeño sector al NE posee suelos con un espesor de 31 a 35 cm.

Respecto al contenido de materia orgánica, si bien los suelos están muy bien provistos en casi todo el partido, aquellos con contenidos más altos, mayor a 6,5 %, se corresponden con el sector NE de mayor espesor del horizonte superficial.

En cuanto al contenido máximo de agua útil, el 51% del área de la cuenca presenta un valor de entre 125,1 y 150 mm, razón por la cual se utilizó un almacenaje de 150 mm para el balance modular y anual. El 38% del área de la cuenca presenta un valor entre 75 y 100 mm de almacenaje, el 10% menor a 75 mm y el 1% entre 100 y 125 mm (Figura 4). A

nivel de partido el sector con aptitud ganadero-agrícola presenta de 75 a 100 mm, mientras que el de aptitud agrícola-ganadera 125 a 150 mm (Falasca et al., 2008).

Figura 4. Contenido máximo de agua útil



2.1.5. Recursos hídricos superficiales pampeanos

A pesar de contar con varios cursos superficiales, la mayoría de éstos son temporarios y prácticamente, en el partido de Tandil, no existen cuerpos de agua lénticos. Los sistemas fluviales típicos de la región pampeana se caracterizan por la falta de bosques ribereños, una baja velocidad de escurrimiento debido a la escasa pendiente del terreno (Feijoó y Lombardo, 2007) y la ausencia de períodos secos o de extremas temperaturas. Estas características permiten un desarrollo diverso y denso de comunidades de macrófitas en cabeceras y cursos medianos (Vilchez, 2005).

La mayoría de arroyos pampeanos que son permanentes se encuentran alimentados principalmente por agua subterránea, excepto aquellos arroyos efímeros ubicados en las cabeceras de las sierras del sudeste de la región (Feijoó y Lombardo, 2007; Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005).

Las bases de los arroyos son caracterizadas por duros y homogéneos sustratos con finos sedimentos (principalmente limo y arcilla), alto contenido de calcio formando capas superficiales de tosca y generalmente carecen de piedras o guijarros (Feijoó y Lombardo, 2007).

En cuanto a sus particularidades hidroquímicas los arroyos pampeanos presentan un alto contenido de nutrientes en comparación con arroyos de bosques ribereños de diversas partes del mundo (Binkley et al., 2004), incluso en sitios con baja o moderada ganadería y agricultura (Feijoó et al., 1999; Bauer et al., 2002). La información antecedente sugiere que los altos niveles de fósforo hallados no pueden ser atribuidos únicamente a los usos de suelo circundantes, sino que, en gran parte, tienen su origen en los materiales volcánicos transportados desde Los Andes y depositados en las llanuras durante el cuaternario, los cuales son ricos en fósforo (Morra's, 1993).

2.1.6. Usos de suelo y sus impactos en la región pampeana rural

En la región pampeana argentina, fuera de las zonas urbanas, los usos de suelo predominantes están vinculados a la agricultura y la ganadería. Ambas formas de producción requieren insumos y eliminan desechos que en parte son drenados hacia los cursos de agua y acuíferos (Viglizzo et al., 2008). En el caso de la ganadería, el manejo de pastoreo afecta significativamente la distribución de nutrientes ya que los animales tienden depositar más excrementos en áreas de descanso, cerca de sombra y agua (Sauer et al., 1999). Además en las últimas décadas ha ocurrido un proceso de intensificación ganadero con la aparición de los engordes a corral (feed lot) que generan una mayor cantidad de desechos (Viglizzo et al., 2008). En el caso de la agricultura su principal aporte está en los nutrientes (principalmente fósforo y nitrógeno) y agroquímicos específicos (Viglizzo y Jobbagy, 2010) sobre los cuerpos de agua. Los periodos de fertilización varían de acuerdo al tipo de cultivo (junio para trigo y fines de diciembre, comienzo de enero para soja). El riego está restringido a pequeñas áreas de producción hortícola. En las últimas dos décadas, está ocurriendo en la región un proceso de intensificación agrícola con el reemplazo del sistema de producción mixto de ganadería-agricultura por un sistema agrícola continuo, sostenido a base de insumos externos como herbicidas y fertilizantes (Viglizzo et al., 2003). Además, hay un importante desarrollo de la actividad tambera que, según datos antecedentes, ha sido caracterizada como la de mayor impacto sobre los recursos hídricos en términos puntuales (Ministerio de Asuntos

Agrarios de la Provincia de Buenos Aires, 2010; La Manna et al., 2011; Pessolano et al., 2012).

2.2. Antecedentes

2.2.1. Redes de monitoreo de recursos hídricos subterráneos

En la bibliografía antecedente analizada a nivel mundial se observa un predominio de la mirada hidrológica por sobre la social. Estos trabajos determinaron parámetros fisicoquímicos y/o microbiológicos de los sitios de muestreo y analizaron relaciones entre calidad del agua y sus efectos sobre la salud (Tirkey et al., 2017); relacionaron calidad del agua con usos de suelo para evaluar la respuesta de los acuíferos a las influencias antrópicas (Reyes Gomes et al., 2017); evaluaron la calidad de agua para consumo humano y su variación espacial y temporal (Masoud et al., 2018); analizaron zonas contaminadas explicando sus posibles fuentes de contaminación (Bodrud-Doza et al., 2018 y Rezaei et al., 2019); evaluaron qué cantidad de población consume agua potable y qué cantidad consume agua no potable (Singhal et al., 2020); y analizaron los efectos de la extracción excesiva de agua en la calidad del recurso subterráneo (Rasteh y Shoaiei, 2020).

A nivel país y particularmente en la región pampeana se pueden resaltar los siguientes estudios:

Martínez et al. (2014) evaluaron la distribución y fuentes de nitrato en un acuífero urbano de la ciudad de Mar del Plata, Argentina. Se evaluaron cuatro zonas de estudio con diferentes usos de suelo: un área prístina, una semirural, una intermedia y una urbana. Las tres últimas zonas están unidas por el sistema de flujo de aguas subterráneas. La concentración promedio de nitrato en el área prístina fue de 6 mg/l. En la zona semirural osciló entre 39 y 107 mg/l con un valor promedio de 72 mg/l y la concentración de nitratos disminuyó en la zona intermedia a un valor promedio de 38 mg/l; sin embargo, allí también se observaron valores superiores a 60 mg/l. La concentración de nitratos en el agua de la zona urbana fue mayor que la de la zona intermedia oscilando entre 48 y 100 mg/l con un valor promedio de 67 mg/l. Las principales fuentes de nitrato en el área de estudio fueron el excremento de animales asociado a usos agropecuarios y los pozos ciegos en el área semirural; y las fugas de la red de distribución de aguas residuales en el área urbana, respectivamente. Este estudio ha demostrado que los acuíferos en áreas

urbanas pueden verse afectados por la actividad agrícola aguas arriba y las fugas de la red de alcantarillado en el área urbana.

Vera-Candiotti et al. (2021) evaluaron la presencia de pesticidas en aguas superficiales y subterráneas de áreas agrícolas de la región pampeana Argentina y desarrollaron una evaluación del riesgo ecológico (ERA) de pesticidas en ecosistemas de agua dulce. Ocho sitios agrícolas del sur de la provincia de Santa Fe, en el norte de la región pampeana, fueron muestreados siete veces entre 2016 y 2018. Se detectaron veinte compuestos entre herbicidas, insecticidas y fungicidas en el 84% y el 79% de las muestras de aguas subterráneas y superficiales, respectivamente. La atrazina fue el pesticida más ubicuo, seguida por el metolaclor, el acetoclor y el glifosato. Se realizó una ERA empleando el método del cociente de riesgo (RQ). La atrazina, la azoxistrobina, el pirimifos-metilo, el acetocloro y el epoxiconazol plantearon un riesgo alto y muy alto para los organismos acuáticos y el glifosato, el metolaclor y el 2,4-D presentaron un riesgo insignificante a medio. Los herbicidas fueron los principales contribuyentes al riesgo. Este estudio representa un punto de partida para la evaluación del riesgo ecológico de plaguicidas.

Cellone et al. (2023) analizaron el impacto de la actividad tambera en los procesos geoquímicos que inciden la calidad de las aguas subterráneas de los acuíferos utilizados para consumo doméstico y animal en cuencas productivas de la Llanura Pampeana del noreste. Realizaron un análisis de los principales iones, nitratos y fosfatos en el agua subterránea en 42 pozos muestreados en diferentes períodos. Las principales fuentes puntuales de contaminación identificadas derivan de la limpieza de las instalaciones agrícolas y los excrementos de animales. Estas fuentes infiltran hacia la zona no saturada y llegan al agua subterránea, o ingresan directamente a través de perforaciones mal construidas. Esto produce reacciones en la zona no saturada, liberando protones y generando la disolución de carbonatos, aumentando la dureza del agua subterránea. Los compuestos químicos registrados pueden producir limitaciones en la calidad del agua para el consumo humano y el desarrollo de actividades agrícolas, afectando la nutrición animal y la producción de la cuenca lechera.

Diversas investigaciones incluyeron al recurso hídrico subterráneo de la cuenca del arroyo Chapaleofú en su estudio.

Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005) evaluaron para el partido de Tandil la línea de base para nitratos en agua subterránea y su concentración promedio fue de 33 mg/l.

Banda Noriega et al. (2018) evaluaron la concentración de agroquímicos para el partido de Tandil. De 7 perforaciones analizadas en noviembre de 2014, 2 presentaron AMPA (metabolito del glifosato), con sembrados de trigo y girasol aledaños. Uno de estos sitios se ubica en el sector de piedemonte de la cuenca del arroyo Chapaleofú. Se trató de un molino sin protección superior, por lo cual se infirió que el ingreso del agroquímico fue, probablemente, por superficie y no por infiltración a través del suelo (con una profundidad del nivel freático de cinco metros). En esta misma perforación Saraceno et al. (2014) hallaron niveles de nitratos superiores a 45 mg/l en los muestreos hidroquímicos realizados entre diciembre 2012 y septiembre 2013, suponiendo contaminación por uso de fertilizantes como nitrato de amonio.

Barranquero et al. (2019) evaluaron la calidad del recurso hídrico subterráneo para el partido de Tandil en relación a las prácticas agropecuarias, determinando conductividad eléctrica, cloruros y nitratos. Los valores de conductividad eléctrica y cloruros fueron similares a los detectados en trabajos antecedentes en el partido (Ruiz de Galarreta, 2004; Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005). Los nitratos presentaron valores promedios en las cuatro campañas de muestreo de 29 (diciembre de 2012), 26 (marzo de 2012), 29 (junio de 2012) y 42 mg/l (septiembre de 2013), respectivamente. La campaña que presentó un mayor valor de nitratos se condice con un descenso del nivel freático (con un descenso promedio de 0,9 m y con profundidades del nivel freático que estuvieron entre 1,7m y 22,6 m), lo que explicaría la mayor concentración del compuesto. Además se detectó la influencia del manejo antrópico sobre la concentración de nitratos. En algunos casos las perforaciones presentaron un diseño inadecuado, principalmente sin encamisado, y/o un mantenimiento deficiente, lo que aumentó las probabilidades de contaminación. Además se identificaron en perforaciones con altas concentraciones de nitratos las posibles fuentes: pozos ciegos cercanos y molinos ubicados en los propios lotes de producción agrícola, en los que se constató en entrevistas con productores el uso intensivo de fertilizantes. Por otro lado, los autores detectaron ausencia de control y registro de uso de agua y disposición de efluentes por parte de las autoridades de contralor y fiscalización (Autoridad del Agua, Organismo Provincial de Desarrollo Sostenible, Dirección de Asuntos Agropecuarios Municipal). Además se detectó un bajo nivel de comunicación entre los productores y los profesionales que los asesoran para concientizar respecto a la importancia de la adecuada manipulación y aplicación de agroquímicos, el manejo de cultivos, las alternativas de producción sostenible, etc. También se remarcaron

las dificultades que enfrentan los productores rurales en el desarrollo de sus tareas, especialmente los pequeños y medianos, de índole económica, administrativa y de conectividad, que dificultan la incorporación de cambios de hábitos.

Pessolano et al. (2012) analizaron en la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico las características geohidrológicas de la misma y el impacto que generan las actividades agropecuarias principales del área, realizando análisis de nitratos, cloruros y conductividad eléctrica. Se concluyó que las aguas de la cuenca estudiada son jóvenes, con bajo tiempo de permanencia en el acuífero, dado que presentan valores bajos de conductividad. Se determinó que la morfología de la capa acuífera es de tipo radial, localizándose los gradientes mayores en el área de la cuenca superior con valores que rondan en 0,019 y decrecen con el sentido del escurrimiento hasta 0,004 en la cuenca media. La velocidad efectiva arrojó un valor de 0,5 m/día. Se determinó que la conductividad eléctrica es baja, lo que se explica por una concentración total de sales en las aguas subterráneas también baja. El valor promedio de todas las campañas es de 655 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El valor promedio de nitratos para todas las campañas realizadas fue de 28 mg/l y sus variaciones estuvieron vinculadas a la recarga del acuífero por el fenómeno de dilución. En relación a la hidrodinámica, la dirección del escurrimiento regional de la cuenca es hacia el Noreste, manifestando la influencia que la morfología superficial ejerce sobre el sistema subterráneo. En cuanto a las fuentes de nitratos, se identificó a la actividad tambera como la de mayor efecto negativo sobre la calidad del agua en términos puntuales.

Rodríguez et al. (2013) realizaron la composición química de la calidad y gestión del agua subterránea en la localidad rural de María Ignacia- Estación Vela (subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico) en el marco de transformaciones territoriales que la afectan y modifican sus vínculos con la ciudad cabecera. Se determinaron conductividad eléctrica, concentración de nitratos y microorganismos patógenos, encontrándose casos que exceden lo recomendado por el Código Alimentario Argentino para agua de consumo humano. La zona no saturada es de escaso espesor (entre uno y dos metros) generando una alta vulnerabilidad del recurso hídrico ante cargas contaminantes. De todas formas el agua brindada por la cooperativa de agua presentó buena calidad.

Rodríguez et al. (2011) evaluaron la calidad y gestión del agua subterránea en la localidad de Gardey, ubicada en la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico. Los valores de nitratos excedieron en muchos casos el límite establecido en el CAA (45 mg/l) y sus

mayores concentraciones coincidieron con las mayores densidades de viviendas. Su origen se asoció a contaminación por pozos ciegos, la presencia de un tambo y una planta de fabricación de agroquímicos. La perforación utilizada para abastecimiento de la red municipal presentó valores algo superiores a 45 mg /l de nitratos en cuatro de las cinco campañas, con un máximo de 60,4 mg/l. En cuanto a la calidad microbiológica, solo dos de las siete muestras tomadas resultaron aptas para consumo humano, siendo una de ellas la utilizada por la red de abastecimiento municipal.

Canziani et al. (2020) evaluaron la presencia/ausencia de residuos de plaguicidas en agua y suelo de establecimientos educativos rurales, algunos de ellos ubicados en la cuenca del arroyo Chapaleofú. En todas las escuelas se encontraron plaguicidas en agua (desde un mínimo de dos hasta un máximo de siete compuestos) y en suelo (desde un mínimo de uno hasta un máximo de ocho). Los agroquímicos que se encontraron en las muestras presentaron concentraciones muy por debajo de aquellas que producen toxicidad aguda. Sin embargo, no existen límites definidos para evitar la toxicidad crónica o a largo plazo.

De los numerosos antecedentes detallados sólo unos pocos utilizan herramientas para integrar las variables naturales y socioeconómicas, y establecer relaciones potenciales entre ellas, siendo este uno de los principales aportes de esta tesis doctoral. Además, no existen trabajos antecedentes que analicen la cuenca del arroyo Chapaleofú en su totalidad y al nivel de detalle que se propone en el presente estudio, en el cual se incluirán los recursos hídricos superficiales y subterráneos.

2.2.2. Redes de monitoreo de recursos hídricos superficiales

A nivel internacional se puede destacar el trabajo de Binkley et al. (2004). Los autores analizaron patrones en la química del agua (entre ellos de la concentración de nitratos) para más de 300 arroyos en pequeñas cuencas de los Estados Unidos. Detectaron que las menores concentraciones de nitratos se encontraron en las zonas boscosas y las mayores se hallaron en los cursos de agua que atravesaban zonas urbanas y agrícolas.

Neal et al. (2006) analizaron los patrones temporales y espaciales de concentración de nitratos en arroyos para la cuenca del río Támesis (Inglaterra) y sus afluentes rurales, en relación a fuentes puntuales y difusas. En dos de sus afluentes, que se alimentan de agua subterránea, se observó un incremento en la concentración de nitratos en los últimos 5 años. Este fue causado por mayores concentraciones en agua subterránea, lo que refleja

los aumentos a lo largo del tiempo en el uso de fertilizantes agrícolas y sus largos períodos de permanencia en el agua subterránea.

Neal et al. (2006) destacaron la importancia de las fuentes difusas de contaminación por nitratos. Determinaron que el componente difuso de nitrato estuvo entre 79% y 95% para el río Támesis y sus afluentes.

Jin et al. (2018) determinaron los aportes de las diferentes fuentes de nitratos al agua superficial del río East Tiaoxi (China) mediante técnicas isotópicas. La aplicación de fertilizantes, al igual que en otros trabajos antecedentes, fue una de las fuentes de mayor influencia. La contaminación por fuentes difusas fue marcada como un grave problema dentro de la cuenca.

Zhang et al. (2021) recopilaron datos de concentraciones de nitrato en 71 ríos de China. Analizaron la distribución espacial de este ion y revelaron mediante análisis de correlación las principales fuentes de contaminación (fertilizantes nitrogenados, estiércol de ganado y pozos ciegos).

Frenguelli (1956) propuso cuatro sistemas hídricos para la región pampeana: Río Salado y sus tributarios, Arroyo Vallimanca, Tributarios del Paraná y Río de La Plata, y Tributarios del Océano Atlántico. Dentro de cada sistema hídrico ubicó el tipo de suelo predominante y su utilidad. La diferenciación de regiones se basó en criterios geomorfológicos y en características hidrológicas de los cursos de agua. Detectó que los Argiudoles típicos que son suelos útiles para cultivo, predominan en las regiones de los sistemas hídricos de tributarios del Paraná y tributarios del Río de la Plata mientras que natracuoles y hapludoles que prevalecen en las regiones del Río Salado y Vallimanca son más útiles para ganadería (INTA, 1990).

Feijoó et al. (2023) analizaron los cambios en la química del agua (pH, conductividad, oxígeno disuelto, nutrientes y carbonatos) en 41 arroyos de la provincia de Buenos Aires entre 2003/2004 y 2015/2016, y el impacto de la geología, el tipo de suelo y el cambio de uso del suelo sobre la química del agua. Observaron modificaciones en varios arroyos, incluidos cambios en la morfología del canal, la vegetación ribereña y el uso de la tierra, y una expansión moderada de la agricultura en la mayoría de las cuencas. La concentración media de nitrato no cambió significativamente entre 2003/2004 y 2015/2016. La concentración de fósforo disuelto aumentó en los arroyos, pero sus niveles no estuvieron asociados con el uso del suelo sino con el pH. Se remarcó el vínculo entre

la acidificación del agua y la concentración de fósforo, e indicó que toda la cuenca actúa como una fuente de fósforo. Las posibles explicaciones de la acidificación fluvial fueron relacionadas con las prácticas agrícolas actuales (mayores aportes de carbono de las tierras de cultivo, la acidificación del suelo por fertilizantes nitrogenados y el uso generalizado de glifosato).

Rosso y Cirelli (2013) evaluaron los efectos del uso del suelo en las condiciones ambientales y macrófitas en 31 ecosistemas lóticos de la llanura pampeana. Clasificaron a los sitios de muestreo según sus usos aledaños como agrícolas o ganaderos. Detectaron que los cursos de agua que drenan tierras cultivadas fueron caracterizados como de mejor conservación de la zona ribereña, pH más bajo y mayor concentración de nitratos que aquellas zonas con cría de ganado. Sus resultados también revelaron que una combinación de variables ambientales (pobres condiciones ribereñas, alto contenido de fósforo total, alto pH y bajo nitrato) fue determinante para la presencia de macrófitas. Sin embargo la abundancia de macrófitas sumergidas y emergentes no dependió de las condiciones de los usos de suelo circundantes ni de la fitogeografía regional.

Amuchástegui et al. (2015) analizaron la influencia de las características morfométricas (área, forma, orden de los cursos, pendiente media, densidad de drenaje, distancia al origen) de cuatro cuencas y el uso de suelo en la hidroquímica de 23 arroyos pampeanos en otoño, primavera y verano (épocas en las que no se fertiliza), en tres escalas espaciales distintas: cuenca completa, y buffers de 200 y 500 metros a ambos márgenes. Los cloruros resultaron positivamente relacionados al área de la cuenca. Los nitratos fueron fuertemente asociados a la agricultura, la concentración de fósforo soluble no fue relacionada con ningún tipo de uso de suelo. El uso de suelo en la zona buffer presentó mayor influencia sobre la concentración de nitrógeno que el uso de suelo a nivel de cuenca. La Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) resultó negativamente asociada a la cría de ganado en otoño y verano. A su vez la cría de ganado resultó negativamente asociada al oxígeno disuelto en primavera. La concentración de oxígeno disuelto se encontró positivamente asociada al orden del curso y a la pendiente media y negativamente a ganadería. Los resultados indicaron la importancia del uso local del suelo y de los bordes del arroyo en la conservación de la calidad del agua.

Gabellone (2005) analizó la concentración de nutrientes, la conductividad eléctrica y el plancton en un paisaje cercano al Río Salado. La concentración de nutrientes y la conductividad fueron relacionadas a las condiciones hidrológicas y a diferentes usos de

suelo en la cuenca. Se encontró una relación entre usos de suelo y nutrientes debido a la contaminación difusa por agroquímicos. Se registraron altas concentraciones de nutrientes y conductividad en zonas de cabeceras y se relacionaron con agricultura intensiva en esta área y el flujo de agua subterránea salina.

En cuanto a antecedentes a escala de partido y de cuenca (como plantea el presente estudio) se destacan los siguientes:

Cortelezzi (2012) realizó la caracterización de los siete arroyos del partido de Tandil, evaluando: las características fisicoquímicas, la demanda de oxígeno y la concentración de nutrientes del agua; las características del hábitat; y la fauna de macroinvertebrados; incluyendo cuatro sitios de muestreo en el arroyo Chapaleofú Grande y dos en el arroyo Chapaleofú propiamente dicho. Se realizaron dos campañas, en otoño y primavera de 2012. El arroyo Chapaleofú Grande y el arroyo Chapaleofú propiamente dicho no mostraron variaciones a lo largo de su recorrido. Las variables fueron muy estables y su comportamiento similar. Esto implica que los sitios de muestreo no presentaron perturbaciones que reflejen un cambio en la calidad del agua. En la presente tesis doctoral se ampliaron los sitios de muestreo hacia el arroyo Chapaleofú Chico, hacia las cabeceras del arroyo Chapaleofú Grande y hacia el sector de llanura del arroyo Chapaleofú propiamente dicho.

Senisterra et al. (2015) evaluaron la vulnerabilidad ambiental de la cuenca rural del arroyo Napaleofú a la erosión hídrica por precipitaciones, teniendo en cuenta por un lado la susceptibilidad ambiental (compuesta por la posición del terreno, la textura del suelo, la vegetación y uso del suelo, la pendiente y la densidad de drenaje) y por otro el índice de founier modificado, que representa el factor activador de la erosividad de la precipitación, que expresa la peligrosidad o amenaza en el proceso. El estudio demostró que el cambio de uso de suelo (aumento de agricultura en detrimento de ganadería y monte) en el período analizado fue el principal factor determinante de la vulnerabilidad de la cuenca.

Bidaure et al. (2016) realizaron un diagnóstico de la situación ambiental del arroyo Chapaleofú destinado al uso recreativo en la localidad de Rauch. Los autores hallaron que la calidad del recurso superficial fue de buena a muy buena de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos analizados. El balneario de la ciudad de Rauch se encuentra, siguiendo el arroyo Chapaleofú aguas abajo, aproximadamente a 28 km de uno de los

sitios de muestreo de esta tesis doctoral ubicado en el sector geomorfológico de llanura. La definición de roles y la participación de actores estuvo en concordancia con la ausencia de política institucional, ya que se superponen distintas dependencias de la Municipalidad de Rauch ejerciendo roles importantes en cuanto al manejo del balneario pero sin una buena comunicación ni coordinación entre ellos. Sumado a esto, la Dirección de Ambiente como el área de salud tienen una participación muy limitada, a pesar que los antecedentes de gestión de recursos hídricos han demostrado que son ejes fundamentales (Custodio et al., 2008; Gutiérrez, 2010). Se detectó además que los usuarios del espacio recreativo no tienen canales de participación en las decisiones de gestión. El manejo del balneario no incluye el diagnóstico, que debería ser continuo para retroalimentar la política institucional (GWP, 2009). No se realizan análisis para monitorear la calidad del agua, lo cual es crítico considerando los riesgos a la salud que implica el contacto directo, y la concurrencia mayoritaria en familia para la natación como actividad preponderante. En cuanto a la disponibilidad de información ambiental, se identificó escasa documentación y comunicación interna, y una comunicación externa prácticamente nula. No se detectó una programación de estrategias e instancias para llevar adelante la documentación, comunicación y difusión de esta información.

Rodríguez et al. (2016) realizaron un estudio en la cuenca rural del arroyo Napaleofú, en el cual caracterizaron la hidrología básica de la cuenca alta, tanto en agua superficial como subterránea y establecieron relaciones entre ellas. El tipo de agua fue el mismo en el recurso subterráneo que en el superficial: bicarbonatada sódica-potásica, con una mayor tendencia a cálcico-magnésica en las muestras correspondientes a las nacientes. Los sitios con mayores concentraciones de nitratos coincidieron con la zona de mayores concentraciones de cultivos, con aplicación de fertilizantes ricos en nitrógeno.

Banda Noriega et al. (2018) analizaron para el partido de Tandil la concentración de agroquímicos en los arroyos del mismo, donde se incluyó un sitio de muestreo en el arroyo Chapaleofú. Los niveles de agroquímicos fueron, en todos los arroyos, inferiores a los valores de referencia para agua de bebida humana para los casos que existen estas referencias (atrazina, 2,4 D y glifosato).

Magdaleno et al. (2018) evaluaron la calidad de las aguas de la microcuenca del arroyo Burgos (San Pedro, Provincia de Buenos Aires) a través de la aplicación de dos índices de calidad ambiental que estuvieron compuestos únicamente por variables fisicoquímicas y microbiológicas. Los dos índices aplicados mostraron los peores resultados de calidad

del recurso hídrico en el sitio donde se encuentra la descarga del efluente de un feedlot. Estas descargas se caracterizan típicamente por tener bajos niveles de oxígeno disuelto y altas concentraciones de amonio y fósforo, entre otros contaminantes, tales como materia orgánica, microorganismos patógenos y residuos de fármacos de uso veterinario (Uusi-Kämpä et al., 2007; Khan et al., 2008). Las mayores concentraciones de glifosato y su producto de degradación, AMPA, se detectaron en el mes de diciembre, en coincidencia con la época cercana a la aplicación de glifosato en el cultivo de soja, que abarca los meses de septiembre a enero.

En la cuenca lindera del arroyo Langueyú se han realizado numerosos estudios del recurso hídrico superficial. Si bien se trata de una cuenca urbana donde las diferencias en su afectación antrópica son sustanciales en relación a la cuenca rural objeto de la presente tesis, resulta interesante marcar las diferencias entre cuencas contiguas con diferentes usos de suelo.

Ruiz de Galarreta et al. (2013) determinaron la calidad del arroyo Langueyú, de características urbanas. En este caso se detectó un aumento significativo de los parámetros fisicoquímicos en el agua a partir de la descarga de una planta de efluentes cloacales y de industrias alimenticias. Bogetti (2015) realizó un diagnóstico ambiental de la cuenca alta del arroyo Langueyú. Relevó a través de encuestas y entrevistas las opiniones, conocimientos y prácticas ambientales que la población de la ciudad de Tandil tiene con respecto a dicho arroyo y sus tributarios. De acuerdo al estudio social efectuado se obtuvo que el nivel de conocimiento de la población sobre los arroyos de Tandil es bajo. Sólo una minoría de los encuestados tiene noción de que existe más de un arroyo en la ciudad y desconoce su denominación, y muy pocos han tenido acceso a datos científicos sobre la calidad de sus aguas. Además, la mayoría no sabe qué tipos de vertidos reciben los arroyos. Se encontró que no existen canales o mecanismos públicos de difusión de información respecto al sistema hídrico superficial o, de existir, tienen un impacto menor en la población. Posiblemente, el escaso conocimiento incide en el bajo uso directo del arroyo para actividades de baño, pesca o recreo, como así también en su cuidado. Cortelezzi et al. (2019) llevaron a cabo un diagnóstico ambiental de la cuenca urbana del arroyo Langueyú desde una perspectiva socioecológica, considerando variables ecológicas y de desarrollo urbano. Utilizaron un índice de urbanización y distinguieron tres zonas: preurbana, urbana y posurbana. La zona preurbana presentó los mejores

resultados ecológicos del arroyo que se fue deteriorando hacia las zonas urbanas y posturbana, ésta última presentó los peores resultados.

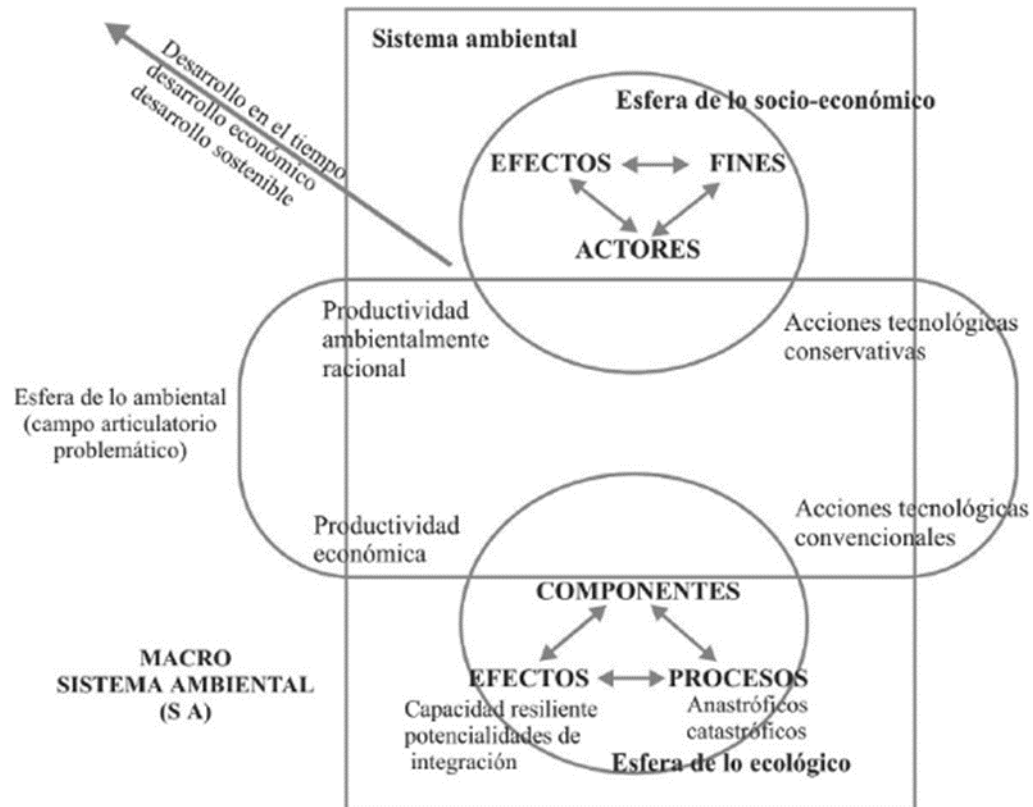
2.3. Marco Teórico

2.3.1. Conceptos Ambientales

En el marco de la presente tesis doctoral se definirá el concepto de Ambiente, su alcance y principales características, ya que el abordaje epistemológico de este trabajo está basado en él. Como punto de partida se considera el concepto de Gallopín (2003), que define el Macro Sistema Ambiente como la interrelación entre los sub-sistemas socio-económico y ecológico, a partir de los cuales se establecen relaciones recíprocas entre las actividades humanas y su entorno. Cada una de estas esferas son sistemas en sí mismos, que poseen elementos y estructuras entre las cuales se generan inter e intrarrelaciones. Fernández (2000) retoma este concepto y lo define como aquello que no es sociedad ni naturaleza sino su interrelación históricamente transformada, la cual se caracteriza por una articulación entre la oferta del medio natural como proveedora de recursos y receptora de los desechos, y las demandas y presiones que el medio socioeconómico genera sobre el primero. Al igual que Gallopín (2003), plantea un esquema donde sistemas menores se relacionan entre sí, formando una estructura mayor donde se presenta un desarrollo evolutivo y dinámico en el tiempo, el cual define como ecósfera o sistema ambiental mayor (Fernández, 2000). Las relaciones dentro de la esfera de lo ambiental se desarrollan en el tiempo, pudiéndose desglosar en dos líneas de influencia: por un lado, la que parte desde el sistema socioeconómico, basada en acciones tecnológicas que influyen sobre el medio natural; y por el otro, una respuesta del sistema ecológico sobre el primero, de acuerdo a las acciones llevadas a cabo. Estas interacciones se conforman en lo que el autor define como “esfera ambiental” (Figura 5). Concretamente, las interacciones entre los subsistemas social y natural se pueden representar en un conjunto de acciones tecnológicas de lo socioeconómico sobre lo natural, y un conjunto de respuestas o reacciones de lo natural sobre lo socioeconómico (Fernández, 2000). Es aquí donde se concibe y desarrolla la problemática ambiental, ya que, según la racionalidad optada por la actividad extractiva de lo social, hay una respuesta de lo natural y sus consecuencias sobre lo social. Una racionalidad de producción económica cortoplacista, mediante acciones tecnológicas convencionales, conlleva una pérdida de la calidad del medio

natural y a la larga, la generación de un problema ambiental. Por otro lado, acciones basadas en las limitaciones y potencialidades del medio natural, que contemplan la capacidad de carga productiva o de remediación, en las cuales se apliquen tecnológicas conservativas, alentarán una productividad ambientalmente racional (Fernández, 2020).

Figura 5. Macro Sistema Ambiental (Fernández, 2020)



2.3.2. Recursos hídricos como servicio ecosistémico

Desde el punto de vista de los servicios ecosistémicos, el agua es integrante de las tres categorías que se establecen normalmente, ya que brinda servicios de provisión, regulación y culturales. Como se mencionó anteriormente, un estudio realizado por el World Resources Institute de Washington (Evaluación de Ecosistemas del Milenio, 2005) indica que cerca de las dos terceras partes de todos los servicios ecosistémicos que brinda la naturaleza a la humanidad están degradándose en el ámbito mundial.

Estos resultados son importantes para comprender que el recurso hídrico debe entenderse considerando todos los servicios ecosistémicos que brinda al ser humano. A su vez es necesario tener en cuenta no solo las funciones y dinámica propias de una cuenca hidrográfica, sino también las interacciones que se establecen con los ecosistemas

asociados a dicha cuenca, con sus propias características y procesos sociales, culturales y económicos. Un modo de comprender este entramado tan complejo que representan los recursos hídricos es a través de una visión ambiental, que por sí misma, considera la importancia de las interacciones y la incertidumbre propia de la complejidad.

Los problemas ambientales ocurren en las interacciones de los subsistemas natural y socioeconómico. En cada uno de estos problemas, múltiples variables de ambos subsistemas están involucradas, otorgándole al mismo un enfoque complejo y un cierto grado de incertidumbre, que solo puede ser reducida mediante la utilización de un enfoque sistémico (Mitchell, 2006; Giannuzzo, 2010; Winker et al., 2016).

2.3.3. Noción de cuenca como área de estudio

Según la Asociación Mundial para el Agua y la Red Internacional de Organismos de Cuenca (2009) una cuenca hidrográfica o lacustre es el área delimitada por las divisorias de aguas de un sistema de arroyos y ríos que convergen en la misma desembocadura, generalmente el mar para el caso de los ríos (Dingman, 2002); no obstante esta definición general, señalan que la cuenca también puede referirse a un cuerpo de agua interior, como un lago o bañado, así como un acuífero o cuerpo discreto de agua subterránea.

Varios autores coinciden en señalar que la cuenca es la mejor unidad de análisis o universo de estudio a fin de explicar adecuadamente la dinámica integral de un sistema hidrológico. En este sentido, según Dourojeanni et al. (2002, pág. 68) “el agua se presenta en cuencas en las cuales las decisiones de extracción, almacenamiento, uso o aprovechamiento y disposición o descarga en un punto del sistema necesariamente afectan todo el ámbito de ocurrencia del recurso aguas abajo, en lo que se refiere a su cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia”. Los autores explican que las cuencas son representativas de la interdependencia y las interrelaciones que se establecen entre los usos y usuarios de agua con distintas necesidades, que no sólo definen una dependencia común del recurso hídrico sino también condiciones socioeconómicas, oportunidades de desarrollo y rasgos culturales compartidos, en un proceso permanente y dinámico.

2.3.4. Recursos hídricos subterráneos y superficiales

Para situarnos en el ámbito de estudio debemos centrarnos en una de las esferas del arco terrestre: la hidrósfera, ámbito constituido por la atmósfera y las capas superiores de la corteza terrestre, en el cual la dinámica del agua es definida por los principios y

características del ciclo hidrológico (Custodio y Llamas, 1983; Chow et al., 1994; Dingman, 2002).

Dentro de este ciclo los principales objetos de estudio de la tesis en cuestión, serán el agua subterránea, (ver apartados del 2.3.5 al 2.3.11) y superficial (ver apartados del 2.3.12 y 2.3.14).

2.3.5. Definición de acuífero

Se denomina acuífero a aquel estrato o formación geológica que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades..." (Custodio y Llamas, 1983, pág. 259).

El área de estudio cuenta únicamente con un acuífero de carácter libre. Se denominan acuíferos libres, no confinados o freáticos, a aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua en ellos que está en contacto directo con el aire y por lo tanto a presión atmosférica (Custodio y Llamas, 1983), es decir que no tienen ningún material impermeable por encima que lo aisle de la superficie.

2.3.6. Movimiento del agua subterránea

Dado el carácter heterogéneo e intrincado de los intersticios que constituyen la porosidad del terreno, las trayectorias de las moléculas de agua tendrán constantes cambios de dirección y de velocidad; por ello es difícil caracterizar el flujo de agua a partir de las trayectorias y velocidades individuales de las moléculas del líquido, por lo que se recurre a medias estadísticas. Por lo tanto la velocidad real del flujo equivale a la velocidad media vectorial de todas las velocidades de cada una de las moléculas de una determinada zona. Esta velocidad real de flujo no representa la velocidad de ninguna de las partículas del agua en particular, sino que es representativa del desplazamiento del conjunto del fluido a través del terreno (FCIHS, 2009).

2.3.7. Parámetros geohidrológicos

Para determinar la capacidad de movimiento del agua es importante definir algunos parámetros geohidrológicos que nos permiten cuantificar y caracterizar dicho movimiento en un acuífero.

La porosidad eficaz es la relación del volumen de agua drenable por gravedad de un terreno al volumen total de éste. En tanto que la retención específica se refiere a la

cantidad de agua retenida por el material contra las fuerzas de gravedad, dividida por el volumen total del terreno. La sumatoria de estos dos elementos equivale a la porosidad total de un terreno saturado (Benítez, 1972; Fetter, 2001; Dingman, 2002).

Otro concepto importante es el de permeabilidad, que se refiere a la capacidad de un terreno de permitir el paso de agua a su través. “...Se define como el caudal de agua que se filtra a través de una sección de área de terreno unidad bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario, estando el agua a una temperatura fija determinada...” (Benítez, 1972, pág. 31; Fetter, 2001).

La transmisibilidad es también un concepto ampliamente usado en la exploración de aguas subterráneas, se refiere al caudal que se filtra a través de una faja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado, bajo un gradiente hidráulico unidad, a una temperatura fija determinada. Si se multiplica la permeabilidad por el espesor de la formación permeable se obtiene la transmisibilidad (Benítez, 1972; Fetter, 2001).

El coeficiente de almacenamiento es otro concepto fundamental en el estudio de los movimientos de las aguas subterráneas en régimen variable. En acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento es igual a la porosidad eficaz: “...es decir, al volumen de agua extraíble por bombeo de una unidad de volumen de acuífero saturado...” (Benítez, 1972, pág. 135). En el caso de acuíferos confinados deben considerarse otras variables como los efectos mecánicos de compresión del terreno y de la propia agua.

2.3.8. Ley de Darcy

El movimiento del agua subterránea puede ser explicado a través de una ley lineal expresada en términos matemáticos conocida como “ley de Darcy”.

A pesar de sus limitaciones, se puede cuantificar el caudal subterráneo a través de la ley de Darcy, asumiendo flujo laminar. Ésta obedece a la siguiente fórmula (Custodio y Llamas, 1983; Freeze y Cherry, 1979; Fetter, 2001):

$$Q = K * A * i(1)$$

donde:

Q: es el caudal circulante en un acuífero (m³ día-1)

A: es el área (m²)

i: es el gradiente hidráulico (determinado por la diferencia "h" de la altura del nivel sobre la distancia "l" recorrida a lo largo del flujo)

K: es la conductividad hidráulica (m día⁻¹)

Una de las cuestiones que nos permite corroborar la ley de Darcy es la lentitud del movimiento de las aguas subterráneas, lo que genera indicios de una potencial contaminación muchos años después de ocurrido el proceso contaminante y que su remediación sea muy lenta.

El agua subterránea es un flujo potencial y por lo tanto fluye de niveles de mayor a menor energía hidráulica; ésta se denomina potencial hidráulico y queda reflejada por la altura de la columna de agua en un punto determinado respecto de un nivel de referencia.

2.3.9. Hidroquímica

La importancia de la hidroquímica radica en que permite conocer la historia del agua subterránea, es decir los materiales por los cuales circuló, el tiempo de recorrido y los procesos químicos que la llevaron a tener la composición actual. Como se señala en FCIHS (2009, pág. 426) “el conocimiento de las características químicas del agua vinculadas a la hidrogeología tiene como finalidad fundamental establecer relaciones entre la composición, distribución y circulación del agua en los acuíferos y la geología, mineralogía y sistema de flujo de éstos...”.

Las características hidroquímicas obedecen a múltiples procesos químicos que afectan el agua en su recorrido por el suelo y los materiales de la zona no saturada, siendo la disolución uno de los procesos principales a través de los cuales el agua adquiere distintos elementos y compuestos químicos.

Estrechamente vinculado al fenómeno de disolución se encuentra el de concentración por disolución. Éste determina que en términos generales las aguas sean más concentradas cuanto mayor es la duración del contacto, más elevada la temperatura, más profundo el acuífero, mayor la porosidad del terreno, más lenta la circulación (relacionada con el gradiente hídrico) y cuanto mayor sea la extensión del espesor saturado (Appelo y Postma, 1993).

2.3.10. Procesos modificadores de la composición del agua y sus parámetros

El tipo de agua subterránea depende de su composición química que se define en función de cómo ésta adquiere los solutos a medida que interacciona con el medio: el

agua de lluvia interacciona con la atmósfera, el suelo y la geósfera para convertirse en agua subterránea. La composición química del agua en las diferentes partes del ciclo es el resultado de los diversos procesos físicos, químicos y biológicos modificadores (Fetter, 1999; FCIHS, 2009).

Otra fuente de modificación del agua antes de su infiltración en el suelo es la deposición de sales a partir del polvo atmosférico (deposición seca) que es significativa en zonas áridas y contaminadas, pero en general es un aporte menor respecto al producido por el agua de lluvia.

Según Custodio y Llamas (1983) la mayoría de las sustancias disueltas en un agua subterránea, se encuentran en estado iónico y pueden ser divididas en:

-Iones fundamentales: Son aquellos que se encuentran presentes casi siempre en el agua subterránea y su suma representa casi la totalidad de los iones que la componen. Los principales iones fundamentales son: carbonato y bicarbonato, cloruro, sulfato, calcio, magnesio y sodio. Se considera frecuentemente dentro de este grupo el oxígeno disuelto (O_2) pero en agua superficial. En esta tesis se incorporaron en este grupo al anión nitrato y al catión potasio. El nitrato se analiza como ion fundamental en muchos trabajos antecedentes porque los aportes antrópicos hacen que pueda hallarse en concentraciones similares a las de algunos de los iones fundamentales (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005, Pessolano et al., 2012; Barranquero et al., 2019). En cuanto al potasio, se ha considerado en este grupo porque en estudios antecedentes en la región se halló en concentraciones similares al calcio y al magnesio en ciertos sectores (Barranquero et al., 2013; Cisneros Basualdo et al., 2016).

-Iones menores: son aquellos que se encuentran formando menos del 1% del contenido iónico total.

-Elementos traza: se encuentran en cantidades difíciles de detectar por medios químicos usuales.

Otros parámetros que serán tenidos en cuenta para la tesis son:

- Conductividad eléctrica: mide la cantidad de iones presentes en el agua y determina la capacidad del agua para conducir la electricidad. Cambios bruscos de este parámetro podrían ser indicadores de contaminación por descargas puntuales.

- pH: es utilizado para evaluar la acidez o alcalinidad de un cuerpo de agua. Cambios en el pH del agua podrían afectar el crecimiento de las especies que allí viven. Los niveles entre 6.5 y 8.5 unidades de pH son aceptables para la mayor parte de los estándares sobre agua potable
- Temperatura: es uno de los factores físicos más importantes para el ecosistema ya que su incremento reduce la disponibilidad de oxígeno para los organismos.

2.3.11. Evolución geoquímica

En líneas generales las aguas subterráneas van aumentando su salinidad con el aumento del recorrido y el tiempo de permanencia en el acuífero, según la secuencia de Chevotareb (Appelo y Postma, 1993); ésta señala que las aguas con menor tiempo de permanencia tienden a ser bicarbonatadas, luego adquieren sulfato y por último cloruro. Respecto a los cationes la secuencia sería Ca^{++} , Mg^{++} y Na^{+} , aunque no suele ser tan clara y existen muchas excepciones al respecto (Freeze y Cherry, 1989). La justificación de la secuencia de Chevotareb radica en la solubilidad y abundancia en el subsuelo de las distintas sales.

2.3.12. Ecosistemas lénticos y lóticos

Los ecosistemas acuáticos superficiales se clasifican según la velocidad de su corriente en: ecosistemas lénticos cuando el agua se encuentra quieta como lagos, estanques o pantanos; y en ecosistemas lóticos caracterizados por ser aguas en movimiento como ríos, arroyos, manantiales, etc. (Margalef, 1983).

La relevancia social y económica de los ecosistemas acuáticos superficiales se refleja en los servicios ecosistémicos que brindan. Entre ellos: la disponibilidad de agua de calidad, transporte, recepción de efluentes urbanos e industriales, producción de energía, pesca, materias primas, turismo, etc. Además, son fuente de biodiversidad al contener una gran cantidad de especies tales como plantas (sumergidas, emergentes y flotantes) y animales acuáticos y ribereños (peces, crustáceos, anfibios e invertebrados) (Margalef, 1997).

2.3.13. Escurrimiento superficial y fluvial

Una vez que el agua de lluvia satura la capacidad de campo superficial (pequeñas depresiones del terreno) la porción que no infiltra se desplaza superficialmente. Este desplazamiento se denomina escurrimiento superficial, según el cual el agua escurre por

la pendiente del terreno sin encauzarse. Una vez que se encauza hablamos de escurrimiento fluvial, que se define como el total que escurre en un curso de agua, en una sección y tiempo determinados y se calcula mediante la técnica del aforo de caudal. Ésta permite conocer en parte la dinámica del ecosistema acuático en ríos o arroyos.

Los factores que influyen sobre el escurrimiento superficial en una cuenca son las características físicas y biológicas (extensión y forma de cuenca, geología, morfología, pendiente, profundidad del nivel freático y vegetación) y las perturbaciones antrópicas (diques, rutas y pueblos) (Horton, 1945; Hem, 1989; Ruiz de Galarreta et al., 2013).

2.3.14. Relación agua superficial-agua subterránea

Las aguas superficiales pueden clasificarse en este aspecto en dos tipos:

-Corrientes influentes: son aquellos casos en los que el nivel de las aguas superficiales está por encima de la superficie freática libre y el agua pasa desde la corriente superficial a la zona de saturación.

-Corrientes efluentes: cuando el nivel del agua superficial está por debajo del nivel freático y, por tanto, recibe aportaciones de agua subterránea (Benítez, 1972).

Conocer la relación entre ambos recursos es importante porque puede contribuir a explicar: la dinámica de variación de niveles y caudales en ellos, las características químicas y biológicas del agua superficial, así como predecir ciertas afectaciones antrópicas a un recurso por el uso de otro.

2.3.15. Influencia antrópica sobre los recursos hídricos

De acuerdo a la Carta del Agua escrita por el Consejo de Europa en 1968 “la contaminación consiste en una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua de la naturaleza, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca y las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural”. Foster e Hirata (1991) agregaron a esta conceptualización algunas cuestiones vinculadas al mayor conocimiento del recurso hídrico y de su necesidad de comprensión integral; señalan que la importancia de la contaminación radica además en la posibilidad de persistencia en las aguas subterráneas y en el costo y dificultad técnica de su remediación o mitigación.

La contaminación de las aguas subterráneas por nitratos es un problema común en muchas zonas agrícolas de todo el mundo y ha provocado la contaminación del agua

potable, la eutrofización, la hipoxia, la toxicidad acuática y otros problemas relacionados con la calidad del agua (Holden et al., 1992; Spalding y Exner, 1993; Fitzgerald et al., 1997; Goss et al., 1998; Bohlke, 2002; Benson et al., 2006; Puckett et al., 2011; Wurtsbaugh et al., 2019). Su origen puede estar relacionado con la agricultura intensiva, con la aplicación de fertilizantes sintéticos nitrogenados, con deficiente tratamiento de efluentes domiciliarios y con excremento de animales (Bohlke, 2002; Zebarth et al., 2015). Baily et al. (2011) utilizaron técnicas de isótopos estables en una granja lechera intensiva en el sudeste de Irlanda para evaluar los tiempos de permanencia del nitrato en agua subterránea y así probar la eficacia de los programas de monitoreo y mitigación. Los autores concluyeron que el agua subterránea (por su lento movimiento) muestra un fuerte legado de las prácticas realizadas en el pasado.

Debido a esto, uno de los indicadores de contaminación más utilizado en el medio rural es la concentración de nitratos. En el CAA (Código Alimentario Argentino) el límite establecido para agua de consumo es de 45 mg/l. Dicho límite se basa en el riesgo de que se produzca metahemoglobinemia (transformación de la hemoglobina en metahemoglobina que puede dificultar o incluso impedir el transporte de oxígeno en sangre), o síndrome del recién nacido cianótico, que afecta a lactantes alimentados con biberón. De forma preventiva la OMS estableció el valor de referencia de 50 mg/l, pero en valores entre 50 y 100 mg/l se puede suministrar agua a lactantes alimentados por biberón siempre y cuando esté confirmado que no presente contaminación microbiológica (OMS, 2006).

Desde una mirada de optimismo tecnológico podríamos suponer que no es tan importante preocuparse por la contaminación como por las tecnologías para su remediación o mitigación; pero desde una visión ambiental, como la que atraviesa esta tesis, se considera más adecuado planificar, gestionar y monitorear las actividades más peligrosas respecto a su generación de cargas contaminantes, de forma tal de prevenir la contaminación.

2.3.16. Redes de monitoreo de recursos hídricos

Para evaluar estas posibles afectaciones antrópicas se cuenta con la siguiente herramienta: redes de monitoreo para la medición sistemática de los parámetros indicadores de afectaciones sobre el recurso hídrico. Los aspectos esenciales para el diseño de una red de monitoreo es un tema complejo que debe abordar los siguientes

aspectos: variables a monitorear; sitios o estaciones de muestreo; frecuencia de muestreo; métodos de recolección, conservación y análisis; almacenamiento, presentación y evaluación de datos; acciones de respuesta; y actores involucrados (Oettinger, 2007). La información generada por redes de monitoreo es la base para la elaboración de programas y proyectos destinados a la gestión sustentable de los recursos hídricos (Pessolano et al., 2012; Reyes Gomes et al., 2017; Tian et al., 2019). En los países en desarrollo la continuidad en el monitoreo suele verse afectada por la escasez de recursos, por lo que la elaboración de redes monitoras eficientes en tiempos y costos de muestreo es indispensable para su continuidad (Azhar et al., 2015; Tirkey et al., 2017; Singhal et al., 2020).

2.4. Marco legal ambiental

A continuación se expondrán sintéticamente las legislaciones que serán citadas en la discusión del estudio.

2.4.1. Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires (LEY 12257)

Establece, entre otras, las siguientes cuestiones:

- Para construir obras hidráulicas o que influyan sobre el agua, los particulares interesados deberán obtener permiso o concesión, cuyo otorgamiento seguirá el trámite previsto por el Título III: “Del uso y aprovechamiento del agua y de los cauces públicos”, en cuanto sea aplicable.
- Las obras que realice un propietario para beneficio de su predio requieren la aprobación previa de la Autoridad del Agua y estarán a su exclusivo cargo.
- Las obras complementarias a realizarse en cada predio para su beneficio, podrán ser construidas por sus propietarios o con su conformidad.
- Las prácticas u obras estructurales destinadas a evitar procesos erosivos o degradatorios del suelo podrán realizarse o construirse sin perjuicio de lo dispuesto por el Título VI, Libro III del Código Civil en terrenos privados.
- En uno y otro caso quienes las realicen o construyan deberán obtener la aprobación genérica o especial de la Autoridad del Agua y conservarlas en buen estado.
- Los propietarios limítrofes con los ríos, arroyos, canales, lagunas y embalses del dominio público, están obligados a permitir hasta una distancia de diez metros del límite externo de la ribera el uso público en interés general de la navegación, la flotación, la pesca y el salvamento y, en especial para:

a) Depositar temporalmente el producto de la pesca deportiva sin dejar residuos que contaminen el medio ambiente.

b) Depositar las maderas u objetos conducidos a flote por los ríos y arroyos para evitar que las avenidas de agua los arrebaten, y las mercaderías descargadas de embarcaciones por naufragio, encallamiento o necesidad semejante.

c) Varar o amarrar embarcaciones u otros objetos flotantes.

d) En caso de sufrir perjuicio, el propietario del predio sirviente podrá ejercer sobre los bienes depositados el derecho de retención.

2.4.2. Ordenanza del HCD (Honorable Consejo Deliberante) del municipio de Tandil N° 17404/2021

Esta ordenanza regula en el partido de Tandil las acciones relativas al manejo responsable de productos agroquímicos: transporte, distribución, fraccionamiento, expendio, aplicación y gestión de envases; cuyo empleo, manipulación y/o tenencia a cualquier título pudiera comprometer la calidad de vida de la población y/o el ambiente.

Define aquellas zonas que necesitan un tratamiento especial como de exclusión (prohibición de aplicación de agroquímicos) y amortiguación (aplicación bajo determinadas condiciones).

En la Tabla 3, extraída del Anexo 2 de la presente normativa, se detallan las distancias de exclusión y amortiguamiento para cada una de las zonas definidas en la legislación.

Tabla 3. Distancia de exclusión y amortiguamiento por cada zona determinada.

Circunscripción 1 (ciudad de Tandil)	Total y hasta 60 metros	500 metros
Zonas Servicios Rurales 1 y 2 Categorías (María Ignacia-Estación Vela y Gardey; Azucena, Fulton, La Pastora, Iraola, Desvío Aguirre y De la Canal)	Total y hasta 60 metros	300 metros
Centros de salud y Establecimientos elaboradores de productos alimenticios	Total y hasta 150 metros	
Establecimientos educativos	Total y hasta 150 metros	500 metros
Urbanizaciones especiales	60 metros de distancia con lotes productivos	
Banquinas	Total	
Cursos de agua primario (lagunas, ríos, arroyos y estaciones de bombeo)	50 metros	
Cursos de agua secundarios (arroyos menores -con un ancho menor a 2 metros-, arroyos temporales)	20 metros	
Pozos de agua de la dirección de Obras Sanitarias del Municipio de Tandil	50 metros	

Fuente: elaboración propia en base a Ordenanza N° 17404/2021.

La Zona de Amortiguamiento es aquella donde sólo se podrán aplicar productos agroquímicos banda verde y/o azul (Clase III y Clase IV) excluyendo productos de mayor volatilidad y únicamente con equipos terrestres, bajo las pautas ambientales y tecnológicas adecuadas, respetando las Buenas Practicas Agropecuarias (Anexo 3 de la presente ordenanza) indicadas por SENASA, INTA y Ministerio de Producción y

Trabajo-, u otro que lo reemplace indicadas en el anexo. Se inicia a partir de la línea final de la zona de exclusión.

Con respecto a los establecimientos educativos la ordenanza plantea que cada uno de ellos deberá contar con una barrera forestal doble y mixta de protección natural en el límite del lote de la institución. Será obligación del profesional a cargo de la aplicación dar aviso 48 horas antes al responsable jerárquico de la institución educativa y acordar día y hora de aplicación. La escuela deberá estar completamente desalojada en el momento de aplicar en la zona de amortiguamiento.

Esta legislación prohíbe la carga de agua para equipos de aplicación directamente del curso de agua, el lavado de máquinas de aplicación de productos agroquímicos en área urbanizada, el lavado o vaciado de remanente de aplicación en los cursos de agua, el vaciado de remanentes en banquinas, caminos, rutas, zonas bajas o humedales y pastizales naturales de áreas protegidas.

Con respecto a los envases de agroquímicos vacíos prohíbe el abandono, entierro, quema, comercialización, intercambio y reutilización de los envases vacíos de productos agroquímicos. Establece que los mismos deben ser depositados en el Centro de Acopio Transitorio local.

Con respecto a las nuevas urbanizaciones emplazadas en el Área Rural, estas deberán respetar una distancia de 60 metros de exclusión respecto de los lotes productivos linderos o adyacentes.

La ordenanza establece que todos los productos agroquímicos deberán obligatoriamente adquirirse y utilizarse bajo la prescripción de un profesional matriculado y habilitado. Esta prescripción se denomina Receta Agronómica Obligatoria.

Además, el ingeniero agrónomo deberá: el Ingeniero agrónomo deberá:

- Brindar asesoramiento teniendo en cuenta el marco legal vigente, desde una actitud preventiva basándose en un estudio de riesgos, planificando las acciones y supervisándola.
- Asegurarse que la información y las recomendaciones han sido comprendidas por los sujetos destinatarios.
- Hacer recomendaciones técnicas, brindar asistencia técnica en las ventas, indicar precauciones, responsabilidad por el producto prescripto, indicar las dosis, hacer

recomendaciones que considere pertinentes, hacer advertencias relacionadas a la protección del medioambiente.

Con respecto a los operadores y propietarios de equipos terrestres y aéreos, estos deberán realizar cursos de capacitación obligatorios brindados por INTA para adquirir permisos de operación en el partido de Tandil.



CAPÍTULO 3

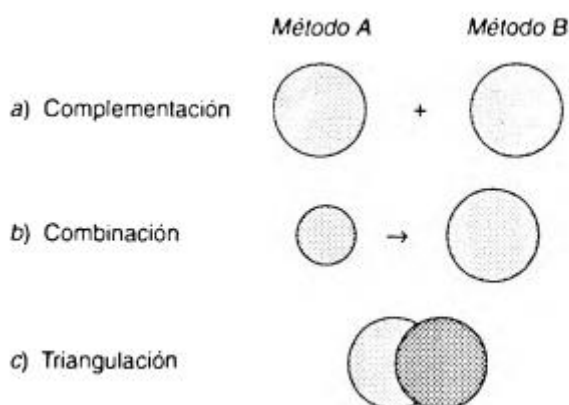
MARCO METODOLÓGICO

“El que viene a fumigar que se lleve los envases” Productor rural entrevistado para esta tesis.

3.1. Integración metodológica

Bericat (1998) plantea tres maneras de realizar la integración entre métodos cualitativos y cuantitativos (Figura 6). Estas son: complementación, combinación y triangulación. En el caso de la presente tesis se utilizó el método de combinación. La estrategia de la combinación no se basa en la independencia de métodos y resultados, como en la complementación, ni en la independencia de métodos pero en la convergencia de resultados, como en la estrategia de la triangulación. En este caso se trata de integrar subsidiariamente un método, sea el cualitativo o el cuantitativo, en el otro método, con el objeto de fortalecer la validez de este último compensando sus propias debilidades mediante la incorporación de información procedente de la aplicación del otro método, a tenor de sus fortalezas metodológicas. Por tanto, en la estrategia de combinación se busca, no la convergencia de resultados, que finalmente procederán de un solo método, sino una adecuada combinación metodológica. En este caso las metodologías cuantitativas (descripción fisicoquímica del agua subterránea y superficial, parámetros morfométricos de la cuenca) se presentarán como las metodologías más robustas y la metodología cualitativa (entrevistas) se presentará como la metodología subsidiaria.

Figura 6. Estrategias básicas de integración metodológica.



Fuente: Bericat (1998).

3.2. Delimitación del área de estudio

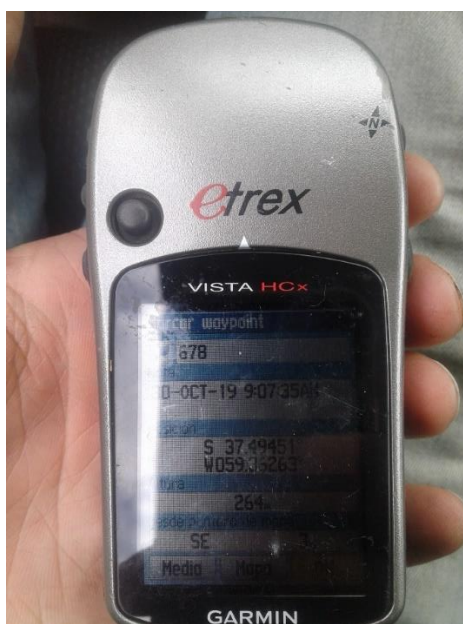
En primer lugar, se delimitó la cuenca del arroyo Chapaleofú mediante la unificación de 11 cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de escala 1:50.000. Los límites de la cuenca fueron definidos siguiendo el diseño de las curvas de nivel, excepto en el límite Noreste que fue determinado mediante un cierre arbitrario en el límite del partido de Tandil con el de Rauch; el límite natural de la cuenca es hacia el NE en la

cuenca del Río Salado (Ver Figura 1). El resultado de esta delimitación fue digitalizado en el software ArcMap 10.2 mediante la previa digitalización de las cartas topográficas de escala 1:50.000 del IGN. Se delimitaron los sectores geomorfológicos de la cuenca siguiendo los criterios utilizados en la cuenca del arroyo Langueyú por Ruiz de Galarreta et al. (2011).

3.3. Diseño de la red de monitora de agua subterránea

Una vez definida el área de estudio se procedió a realizar un registro de las perforaciones existentes en la misma. El registro constó de 104 perforaciones de las cuales se seleccionaron 32. Cada sitio se ubicó con GPS (Sistema de Posicionamiento Global) en campo y luego en el software ArcMap 10.2 (Figura 7).

Figura 7. GPS de campo utilizado en la investigación.

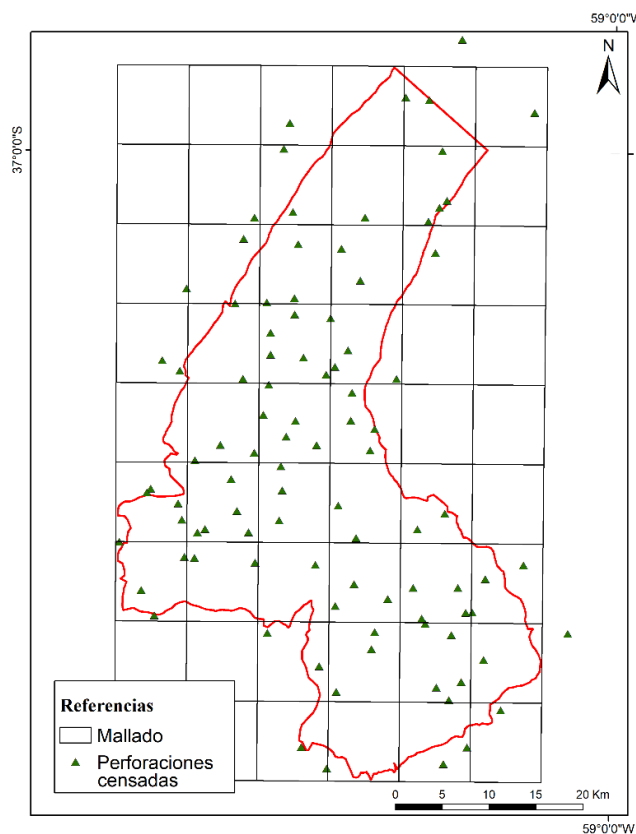


Fuente: fotografía del autor.

Para la selección de las perforaciones se realizó un muestreo por juicio o subjetivo. En este tipo de muestreo se emplea el conocimiento del experto y la opinión personal para identificar a los elementos de la población que deben incluirse en la muestra (Anderson et al., 2008). Se aplicó una técnica en ArcMap 10.2 que generó un mallado (Figura 8) sobre la cuenca. En cada celda del mallado (que presentan una superficie de 64 km²) se compararon las perforaciones para seleccionar una perforación por celda, con el fin de asegurar una distribución geográficamente homogénea de las mismas, teniendo en cuenta los límites hidrológicos. La selección fue realizada mediante la sumatoria de valores de las variables analizadas que compusieron un índice, con valores entre 12 y 18, siendo

aquellos más altos los óptimos y por ende los seleccionados. El objetivo de la red monitora fue reflejar las características del recurso hídrico subterráneo lo más natural posible y evitar incluir sitios que presenten una contaminación puntual del recurso. Las variables que se compararon y se consideraron en forma conjunta para la selección fueron: accesibilidad, presencia de encamisado en la perforación, mantenimiento sanitario de la misma, valores de conductividad eléctrica acordes a datos antecedentes, distancia a otras perforaciones seleccionadas, distancia al baricentro de la celda, posibilidad de toma de muestra directa del acuífero, y posibilidad de toma de muestra de agua y medición de nivel en la misma perforación.

Figura 8. Mallado de la cuenca para la selección de perforaciones en la cuenca del arroyo Chapaleofú.



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2).

Cada una de las variables presentó dos valores posibles (0 y 2), excepto accesibilidad que constó de tres valores probables (0, 2 y 4), con el fin de ponderar esta variable sobre el resto. Cada una de las perforaciones correspondientes a la misma celda sumó un valor total mediante la aplicación del índice. La perforación que mayor cantidad de puntos obtuvo en cada celda fue la que resultó elegida. En la Tabla 4 podemos ver la condición que se priorizó para cada variable.

Tabla 4. Variables tenidas en cuenta en la selección de perforaciones de la cuenca del arroyo Chapaleofú y puntajes asignados a cada opción de respuesta a la variable.

Variable	Condición	Valor
Accesibilidad (camino, contacto)	Buena	4
	Regular	2
	Mala	0
Presencia de encamisado	Si	2
	No	0
Mantenimiento sanitario de la perforación	Bueno	2
	Malo	0
Conductividad eléctrica acorde a la zona	Si	2
	No	0
Distancia a la perforación seleccionada más cercana	Menor cercanía	2
	Mayor cercanía	0
Distancia al baricentro de la celda	Mayor cercanía	2
	Menor cercanía	0
Muestra directa del acuífero	Si	2
	No	0
Toma de muestra y medición de nivel en el mismo pozo	Si	2
	No	0

Fuente: elaboración propia.

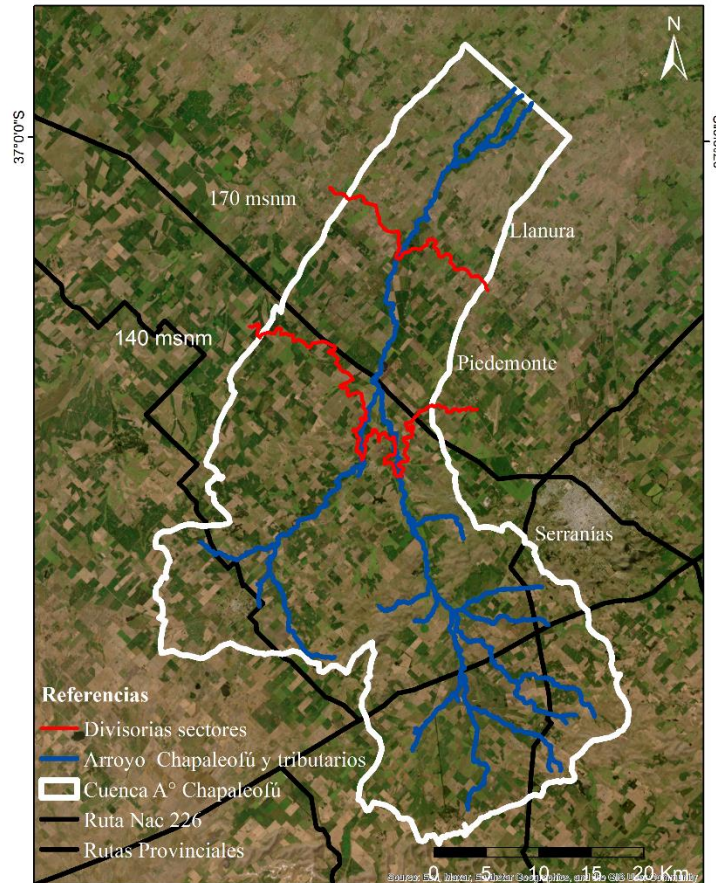
La selección de los sitios incluyó perforaciones que se encuentran fuera de los límites de la cuenca con el fin de verificar los mismos, especialmente en el sector geomorfológico de llanuras. Los puntos que se encuentran fuera de la cuenca fueron comparados únicamente con otros de la misma condición. La definición de las variables de los medios físicoquímico y socioeconómico a relevar se realizó recopilando antecedentes en general y dentro de otras cuencas del partido de Tandil en particular.

3.4. Diseño de la red monitorea de agua superficial

La metodología consistió en definir los sitios de muestreo en el arroyo Chapaleofú y sus tributarios: el arroyo Chapaleofú Chico y el arroyo Chapaleofú Grande. Estos sitios debían tener representación en los distintos sectores geomorfológicos. Para obtener información preliminar sobre los sitios a analizar, se efectuó un muestreo exploratorio programado a partir de la inspección previa de cartografía satelital, el cual permitió evaluar la accesibilidad al arroyo Chapaleofú (Figura 9) y sus tributarios.

Para la ubicación precisa de cada uno de estos sitios, se utilizó el GPS ya mostrado, en el que se archivaron las coordenadas geográficas.

Figura 9. Arroyo Chapaleofú y sus tributarios, accesibilidad y ubicación en diferentes sectores de la cuenca..



Elaboración propia (ArcMap 10.2)

3.5. Caracterización del recurso hídrico subterráneo

3.5.1. Hidrodinámica

Con las 32 perforaciones seleccionadas se realizó el censo preliminar en noviembre de 2019. El mismo consistió en medir la profundidad del nivel de agua en cada una de las perforaciones para luego calcular su nivel freático (estático), y tomar una muestra para analizar parámetros fisicoquímicos. Dicho muestreo se realizó en cuatro días consecutivos. Se trabajó con el Software ArcMap 10.2 para realizar el mapa equipotencial.

Las perforaciones en las cuales se tomaron las muestras de agua contaban con molinos, bombas eléctricas sumergibles, o superficiales.

Figura 10. Medición de profundidad del nivel freático en una perforación de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



Fuente: fotografía del autor.

Figura 11. Molino, sitio de muestreo 5.



Fuente: fotografía del autor.

Figura 12. Bomba sumergible, sitio de muestreo 3.



Fuente: fotografía del autor.

Figura 13. Bomba superficial, sitio de muestreo 14.



Fuente: fotografía del autor.

3.5.2. Hidroquímica

En todos los casos se dejó correr agua, al menos 4 minutos, antes de tomar la muestra para asegurarse de no tomar agua que haya estado estancada en la cañería.

Las muestras fueron colectadas en botellas de medio litro de PET (Polietileno Tereftalato) que, a diferencia de otros plásticos como el polietileno, no permite la difusión de gases (Castany, 1975). Los recipientes fueron enjuagados con el agua a coleccionar y cerrados sin dejar cámara de aire.

Figura 14. Toma de muestra para análisis fisicoquímicos.



Fuente: fotografía del autor.

Las determinaciones fisicoquímicas realizadas incluyeron: conductividad eléctrica, pH, temperatura, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, calcio, magnesio, sodio y potasio. La conductividad eléctrica, el pH y la temperatura del agua fueron medidas in situ, considerando la susceptibilidad que presentan con respecto a los cambios ambientales (Appelo y Postma, 1993), utilizando el medidor multiparamétrico AQUACOMBO HM3070. Las sales disueltas totales se calcularon multiplicando el valor de conductividad eléctrica por 0,7. El bicarbonato también fue medido in situ a través del método de titulación (APHA, 2005). Las restantes determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Análisis Bioquímicos y Minerales (LAByM-FCV) con métodos analíticos normalizados (APHA, 2005).

Figura 15. Determinación de la concentración de bicarbonatos en agua superficial realizada en campo.



Fuente: fotografía del autor.

Figura 16. Determinación de la concentración de nitrato en el Laboratorio de análisis Bioquímicos y Minerales (LAByM)



Fuente: fotografía del autor.

El comportamiento espacial de los datos obtenidos fue evaluado en el Software ArcMap 10.2. Se construyeron mapas de isoconductividad eléctrica y de distribución

espacial de nitratos y cloruros. Se realizó la tipificación de las aguas y diagramas hidroquímicos.

Para el análisis de los datos se calcularon los estadísticos descriptivos para el conjunto de datos utilizando el software Rstudio. Utilizando este mismo software se realizó una matriz de correlaciones entre los datos fisicoquímicos analizados con el fin de evaluar la asociación entre las diferentes variables. Una vez realizado el censo preliminar y teniendo un mayor conocimiento de la hidroquímica del área de estudio, se realizaron cuatro muestreos estacionales con una reducción de cuatro perforaciones (ver apartado 3.8.3) para conocer las variaciones a lo largo de un año calendario de los diferentes parámetros. Además, se realizó el balance hídrico de los años involucrados en el estudio con información procedente del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), más precisamente de la Estación Aero Tandil. Esta estación se encuentra hacia el Este de la cuenca del arroyo Chapaleofú a 5 km del límite de la misma, dentro del sector de piedemonte, y se considera adecuada para este análisis por su disponibilidad de datos con garantía de procedencia oficial, su representatividad espacial y su extensión en el tiempo.

3.6. Caracterización del recurso hídrico superficial

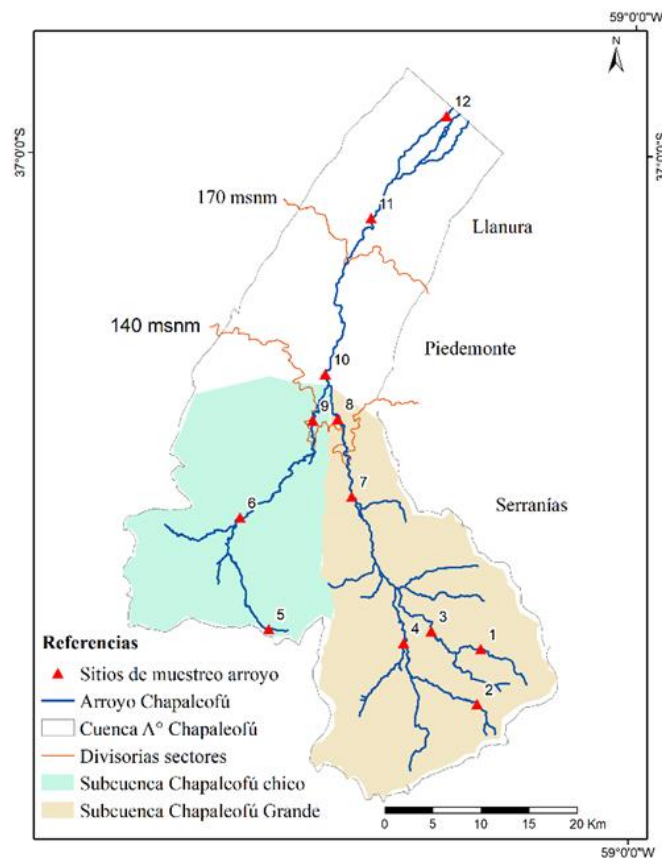
3.6.1. Química y dinámica superficial

Se realizó un censo preliminar en el mes de octubre de 2019 incluyendo 12 (Figura 17) sitios de muestreo. Las determinaciones físico-químicas efectuadas para la caracterización básica del sistema hidroquímico contemplaron: conductividad eléctrica (CE), temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, calcio, magnesio, potasio y sodio.

En cada punto de muestreo se determinaron *in situ* los valores de temperatura, pH, CE y OD, considerando la susceptibilidad que presentan respecto a los cambios ambientales (Appelo y Postma, 1993), utilizando el medidor multiparamétrico Aquacombo HM3070. Los carbonatos y bicarbonatos también se determinaron en campo, inmediatamente después de la toma de muestra, utilizando el método de titulación (APHA, 2005). Para el resto de las determinaciones se extrajeron muestras de agua que fueron debidamente refrigeradas y luego analizadas en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Minerales (LabyM) de la Facultad de Ciencias Veterinarias (UNICEN). Las muestras se envasaron en recipientes de 1 litro de PET (Polietileno Tereftalato) que, a diferencia de otros plásticos como el polietileno, no permite la difusión de gases (Castany, 1975). Las

muestras de agua se tomaron en puntos con buena circulación y mezclado, evitando las aguas estancadas y tratando de no recoger partículas tales como hojas y sedimentos. Las extracciones se realizaron de frente a la corriente, sumergiendo los envases a una profundidad aproximada de 20 cm, con la boca ligeramente inclinada hacia arriba; una vez llenos, se cerraron bajo el agua.

Figura 17. Red monitorea de recursos hídricos superficiales para el censo preliminar (noviembre 2019) de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



Elaboración propia (ArcMap 10.2).

En los 12 puntos de muestreo se realizó el aforo de caudal mediante la técnica del flotador. En el cuarto muestreo estacional se utilizó el método del molinete (marca SIAP) para verificar los resultados obtenidos con el método del flotador.

Figura 18. Medición de ancho del arroyo Chapaleofú para la determinación de caudal.



Fuente: fotografía del autor.

Figura 19. Molinete utilizado para la determinación de caudal en el arroyo Chapaleofú.



Fuente: fotografía del autor.

En cada sitio se relevaron mediante observación directa los usos de suelo a ambos lados del arroyo y aguas arriba de éste.

Se obtuvieron a partir de los datos fisicoquímicos medidas de resumen que incluyeron: mínimo, primer cuartil, mediana, promedio, tercer cuartil y máximo. Se realizó una matriz de correlaciones (Prueba paramétrica de correlación de Pearson, para la cuál se pusieron a prueba los supuestos: la escala de medida es de razones, las variables están distribuidas de forma aproximada y la asociación es lineal) utilizando el software Rstudio entre los distintos parámetros fisicoquímicos analizados y el caudal, para evaluar las relaciones existentes entre ellos.

Se elaboró el diagrama de Piper para conocer la tipificación de las aguas del arroyo y se relacionó con la tipificación de las aguas subterráneas para entender la relación entre ambos medios en los distintos sectores geomorfológicos de la cuenca. Luego de la realización del censo preliminar se llevaron a cabo cuatro muestreos estacionales para conocer las variaciones de los distintos parámetros determinados a lo largo de un año calendario. Para estos cuatro muestreos estacionales se redujo la cantidad de sitios de muestreo a 8 para tener una red monitorea más efectiva en términos de tiempos y costos de muestreo.

3.7. Caracterización morfométrica de la cuenca

Se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcMap 10.2 como apoyo cartográfico georreferenciado. A partir de un Modelo de Elevación Digital del terreno (MED) se generó la información para el análisis y caracterización de la cuenca hidrográfica. Para este trabajo se utilizaron MED provistos por el Servicio de Geología de los Estados Unidos (USGS). Para realizar los cálculos de superficies y distancias se transformaron las capas a un sistema de coordenadas basadas en la red IGM Posiciones Geodésicas Argentinas (POSGAR '94 zona 5). Se utilizaron 11 cartas topográficas de escala 1:50.000 del IGN para contrastar la información del MED. De esta forma se definieron los límites de la cuenca y las subcuencas. El límite Noreste fue determinado mediante un cierre arbitrario en el límite del partido de Tandil. Se aplicó un método de observación directa en campo, para corroborar aspectos conflictivos detectados durante el análisis. Se determinaron parámetros morfométricos (Gaspari et al., 2013) de la cuenca del arroyo Chapaleofú y de sus tres subcuencas (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros morfométricos determinados en el presente estudio para la cuenca del arroyo Chapaleofü.

Parámetros	Forma	Área (A), Perímetro (P) y Perímetro 3D (P 3D)	Características básicas del polígono que conforman la cuenca y subcuencas.
		Longitud Axial (La)	Distancia entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca (Henaos, 1988).
		Longitud del curso principal (L)	Distancia desde la naciente hasta la desembocadura del curso principal.
		Longitud total del drenaje (Ln)	Sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca.
		Coefficiente de sinuosidad total (S)	Relación entre L real y la longitud en línea recta o curva del arroyo (Llamas, 1993)
		Ancho promedio (Ap)	Relación entre A/La.
		Factor de forma (IF)	Indica cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial en la cuenca. Relación entre Ap/La (Henaos 1988).
		Coefficiente Gravelius (Kc)	Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca (López Cadenas de Llano, 1998)
	Relieve	Coefficiente de circularidad (Cc)	Compara el área de la cuenca con el área de un círculo cuya circunferencia es igual al perímetro de la cuenca (Miller, 1953)
		Curva Hipsométrica Coefficiente de rugosidad (Ra)	Gráfico que explica el estado de madurez de la cuenca. Relación entre desnivel de la cuenca y su densidad de drenaje (Dd) (Patton, 1998).
	Drenaje	Clasificación drenaje Densidad de Drenaje (Dd)	Número de orden de río según Strahler (1964). Relación entre Ln/A de la cuenca (Horton, 1932).
		Pendiente media del arroyo Tiempo de concentración (Tc)	Pendiente en m/m o % del cauce principal del arroyo. Tiempo teórico que tardaría una gota de agua desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de salida de la misma (Kirpich, 1940).

Fuente: Gaspari et al., 2012.

3.8. Caracterización del medio socioeconómico.

3.8.1. Observación directa

La observación directa es una técnica útil para el relevamiento de información en estudios de caso ya que “se puede obtener información independientemente del deseo de proporcionarla y de la capacidad y veracidad de las personas que integran, el grupo o comunidad a estudiar, también los hechos se estudian sin intermediarios, con lo cual se

evitan posibilidades de distorsión de parte de los informantes, provenientes de que estos no pueden proporcionar datos en forma correcta o no quieran hacerlo; los fenómenos se estudian en el momento que ocurren, con ello se evitan las deformaciones inevitables de los hechos que hay que recordar o la inseguridad de la expresión verbal” (Ander Egg, 1995, pág. 96).

En el presente estudio se utilizó la observación directa en cada uno de los muestreos realizados. En esas instancias se observaron: mantenimiento de la perforación, presencia de encamisado, uso de suelo en el lote de la perforación (Figura 20) y uso de suelo en el establecimiento.

Figura 20. Ejemplo de uso agrícola en lote de la perforación, sitio de muestreo 4.



Fuente: fotografía del autor.

Además se registraron los objetos que se disponían alrededor de la perforación, la situación del terreno (bajo, loma, encharcado, con vegetación, cementado), y los pozos ciegos y/o otras fuentes de contaminación posibles en los alrededores de la perforación y su situación hidrodinámica respecto a ella (aguas arriba o abajo).

En los sitios de muestreo en arroyo se utilizó la observación directa para determinar usos de suelo linderos en el sitio de muestreo y usos de suelo aguas arriba y aguas abajo del mismo.

3.8.2. Entrevistas

Se realizaron entrevistas semi-estructuradas a productores rurales y a la directora de una escuela rural, de cuyos establecimientos se tomaron y analizaron muestras de agua subterránea. En este tipo de entrevistas, se dispone de un guion con los temas que se deben

tratar a lo largo de la conversación. Sin embargo, el entrevistador puede decidir libremente sobre el orden de presentación de los diversos temas y el modo de formular las preguntas. Sobre un tema determinado, el entrevistador puede ordenar la conversación de la forma que la desee, plantear las preguntas que considere oportunas, y hacerlo en los términos que le parezca conveniente, explicar su significado, pedir al entrevistado que le aclare algo que no entiende o que profundice sobre algún aspecto cuando lo estime necesario, y establecer un estilo propio y personal de conversación (Corbetta, 2007).

Los guiones realizados, fueron semejantes para todos los entrevistados, aunque con algunas variaciones teniendo en cuenta la actividad principal de cada establecimiento. Se hizo hincapié en la experiencia del entrevistado con respecto al uso, gestión y conocimientos de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. En el caso de la escuela rural, la directora fue consultada además, sobre cómo es afectada por la agricultura realizada en el campo vecino.

Las entrevistas se desarrollaron hasta alcanzar el criterio de saturación. Este es el punto en el cual ya se ha escuchado una cierta diversidad de ideas y con cada entrevista u observación adicional no aparecen nuevos elementos (Krueger et al., 2009).

Para el análisis de las entrevistas se siguió la metodología explicada por Navarrete (2011). La misma comprende tres etapas: reducción de datos (edición, categorización, codificación, clasificación y presentación de datos), análisis descriptivo (que permite elaborar conclusiones empíricas y descriptivas) e interpretación (que establece conclusiones teóricas y explicativas). En el presente estudio no se realizó el proceso de interpretación ya que corresponde a un plano de análisis superior al abarcado en este trabajo.

El análisis de datos de las entrevistas comenzó con el texto desgravado y transcripto. Se analizó cada entrevista por separado y luego en su conjunto. Posteriormente se volvieron a analizar por separado para obtener una síntesis de mayor utilidad para este trabajo. Se desarrollaron dos tipos de lecturas: primero, una lectura temática de cada texto, para encontrar particularidades de cada discurso en cada una de las etapas del proceso del análisis; segundo, se desarrolló una lectura relacional del conjunto de los textos; presentadas las características singulares, se pasó a comparar (semejanzas y diferencias) las características de los diversos textos estudiados.

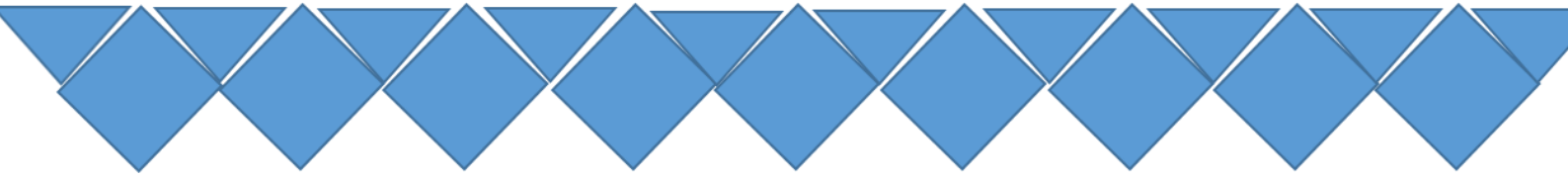
Además se mantuvieron charlas informales con integrantes de la Mesa de Escuelas Rurales de Tandil (MERT). Ellos conocen a los encargados de las aplicaciones en los campos y/o a los ingenieros agrónomos que los asesoran a los mismos y eso permitió corroborar o no algunas de las opiniones de los entrevistados.

3.8.3. Relación entre manejo del recurso hídrico subterráneo y su calidad

Se dividieron las muestras en tres grupos según su calidad: adecuada, regular y mala. Esta clasificación se realizó teniendo en cuenta los valores de nitratos, que fue el único parámetro que excedió, en algunas muestras, el límite establecido por el CAA (45 mg/l). Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), utilizando el software Rstudio, entre la variable nitrato y las variables de manejo (mantenimiento, encamisado, uso de suelo en el lote de la perforación y uso de suelo en el establecimiento) para analizar qué relación existe entre el manejo del recurso y la concentración de nitrato. Los datos cumplieron con los supuestos del Anova. a) son independientes y siguen la distribución Normal. b) Todos los grupos tienen el mismo tamaño. c) Las Varianzas de los grupos son similares. Además se realizó un BoxPlot de la concentración de nitratos para identificar datos atípicos y eliminar de la red monitorea aquellos que más se alejan del fondo geoquímico para nitratos definido en el partido (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005).

3.8.4. Relación entre usos de suelo y calidad del recurso hídrico superficial

Se realizó mediante el software Rstudio el análisis de la varianza del ion nitrato con respecto a los diferentes usos de suelo. Se utilizó el ion nitrato que es un indicador de contaminación por actividades antrópicas, ya sea por el uso de fertilizantes o por excremento de animales. Si bien no hubo casos en que la concentración de nitratos superara el valor límite establecido en el CAA para el agua de consumo humano que es de 45 mg/l, se relacionó el uso de suelo preponderante en cada sitio con la concentración de nitratos para analizar si los diferentes tipos de uso de suelo podrían influir en las variaciones de concentración de nitratos.



CAPÍTULO 4

RESULTADOS

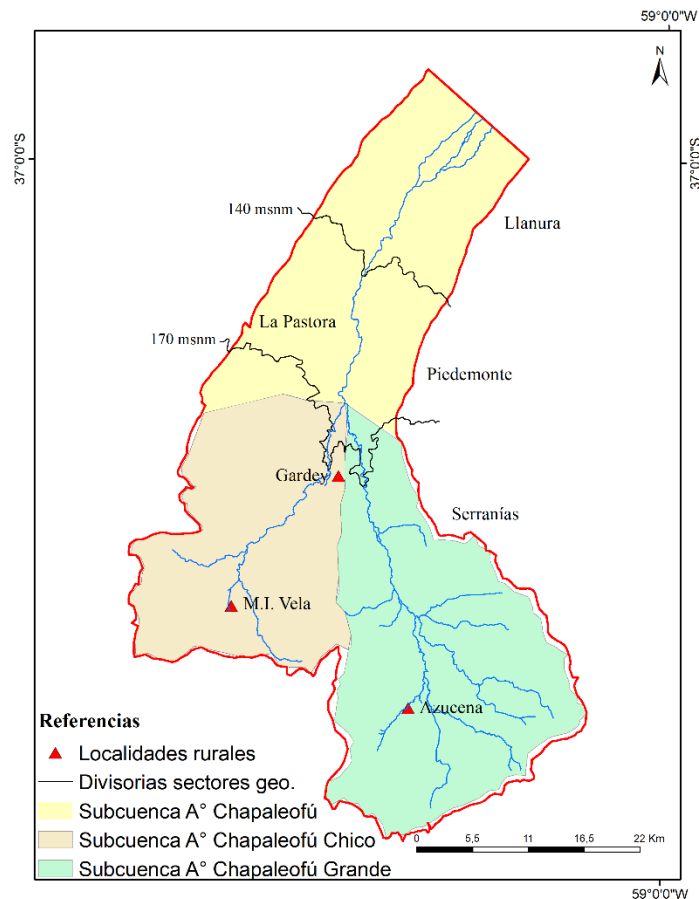
“Vino el rabadomante. Fue mágico”. Productor rural entrevistado para esta tesis.



4.1. Definición y extensión de la cuenca

Como se explicó en la metodología (ítem 3.2), se delimitó la cuenca del arroyo Chapaleofú mediante el uso de cartas topográficas del IGN. Los límites se definieron siguiendo las líneas divisorias de agua, excepto en el sector Noreste en el cual se consideró el límite del partido de Tandil con el de Rauch. La cuenca presentó una extensión de 1600 km². Se determinaron los sectores geomorfológicos para la cuenca (Figura 19) teniendo en cuenta los criterios utilizados en la cuenca del arroyo Langueyú por Ruiz de Galarreta et al. (2011).

Figura 219. Delimitación de la cuenca del arroyo Chapaleofú considerada para el estudio y ubicación de sectores geomorfológicos.



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2).

4.2. Morfometría de la cuenca del arroyo Chapaleofú

Como se mencionó en el apartado anterior la cuenca presentó una extensión de 1600 km². La subcuenca de mayor área fue la del arroyo Chapaleofú Grande (608 km²), en

segundo lugar la subcuenca del arroyo Chapaleofú (528 km²) y en tercer lugar la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico (448 km²).

La cuenca del arroyo Chapaleofú de acuerdo al Coeficiente Gravelius obtenido (Tabla 6) presenta una forma de oval oblonga a rectangular oblonga. Estos tipos de formato son los dos formatos de cuenca más irregulares y distanciados de aquellos que tienden a la circularidad. Al ser formatos irregulares y estar alejados de la circularidad la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es menor, porque las distancias relativas de la divisoria con respecto a un punto central son diferentes, por lo tanto el tiempo de concentración se hace mayor. Por otra parte las tres subcuencas presentan por separado una forma oblonga (López Cádenas de Llano, 1998), siendo la subcuenca del arroyo Chapaleofú la de mayor peligro de inundación debido a que las otras dos subcuencas (arroyo Chapaleofú Chico y arroyo Chapaleofú Grande) presentan una mayor pendiente que favorece el escurrimiento superficial y se encuentran aguas arriba de ésta.

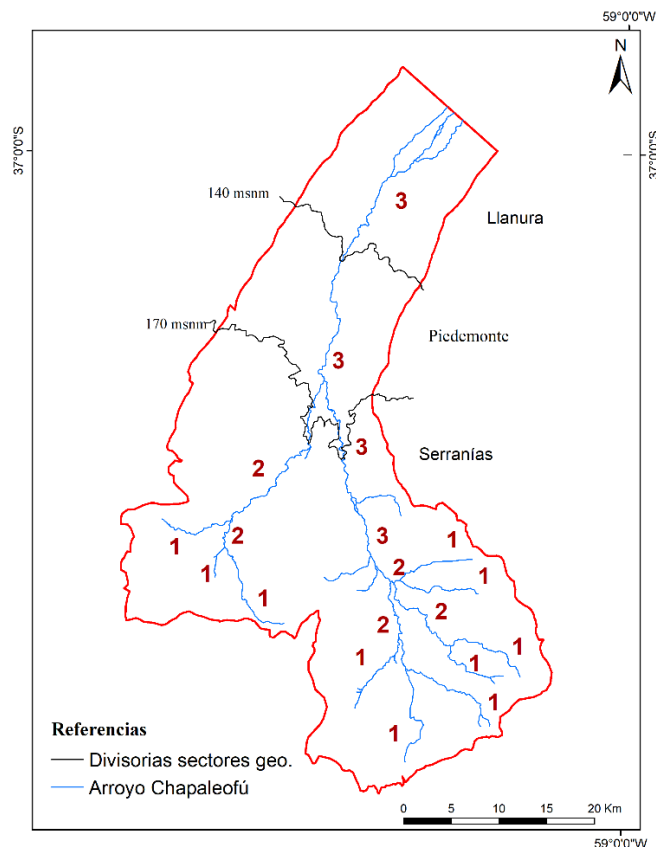
El factor de forma presenta un valor bajo, característico de una cuenca triangular, con dos vértices en la cabecera (subcuencas de los arroyos Chapaleofú Chico y Chapaleofú Grande), afluentes de similar longitud y sincronismo en la llegada (que coincide con la subcuenca del arroyo Chapaleofú), que pueden provocar crecidas significativas (Gaspari et al., 2012). Las cotas dentro de la cuenca oscilaron entre los 108 y 520 msnm. Teniendo en cuenta la clasificación de relieve realizada por López Cádenas de Llano (1998), la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico presenta una pendiente suave (2,70%), la subcuenca del arroyo Chapaleofú Grande una pendiente que presenta lomadas (3,03%) y la subcuenca del arroyo Chapaleofú presenta un relieve suave con pendiente de 1,46%. Según esta clasificación la cuenca del arroyo Chapaleofú en su totalidad tiene un relieve suave (pendiente de 2,28%). Alrededor del 63% de la superficie se encuentra por encima de los 211 m de altura.

En un principio, y sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad del drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando el agua en menos tiempo (Gaspari et al., 2012). En el presente estudio la subcuenca del arroyo Chapaleofú Grande fue la que presentó una mayor densidad de drenaje (0,24) seguida por la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico (0,12) y por la subcuenca del arroyo Chapaleofú (0,11). Concordando con estos datos, se halló que la subcuenca que presenta una mayor densidad de drenaje fue la única en la que no se encontraron registros de inundaciones en entrevistas y medios locales.

El tiempo de concentración fue calculado con la metodología de Kirpich (1940). La misma se desarrolló con canales bien definidos y pendientes pronunciadas (del 3 al 10%), características que no se cumplen en todos los sectores de la cuenca del A° Chapaleofú, pero fue la metodología que mejor se adaptó a las características naturales del entorno. Además fue la metodología utilizada en otras cuencas de la región, por lo que su uso es ideal para la comparación de resultados. La subcuenca con mayor tiempo de concentración fue la del arroyo Chapaleofú, debido a su escasa pendiente.

La curva hipsométrica (Figura 23) determinó que la cuenca presenta un estadio de madurez en su evolución hidrográfica (Strahler, 1952). Siguiendo el método de jerarquización del drenaje de Strahler (1964) se alcanzó un orden máximo de 3 (Figura 22). Las subcuencas de los arroyos Chapaleofú Grande y Chapaleofú Chico presentan estadios de madurez y la subcuenca del arroyo Chapaleofú presenta un estadio de senectud, lo que se corresponde con su escasa pendiente.

Figura 22. Jerarquización del drenaje en la cuenca del arroyo Chapaleofú.

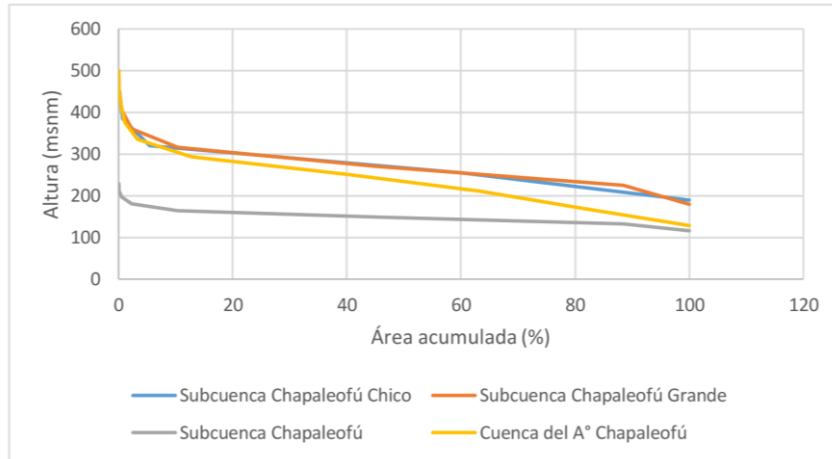


Fuente: Elaboración propia (ArcMap 10.2).

Teniendo en cuenta la sensibilidad de la cuenca del río Salado a eventos hídricos extremos (Scarpati y Capriolo, 2013) toman importancia las tareas de prevención como

obras civiles y redes de monitoreo de las condiciones principales que intervienen en este tipo de fenómenos, con el fin de dar alerta a las autoridades competentes (Ibarlucía et al., 2017).

Figura 23. Curva hipsométrica de la cuenca del A° Chapaleofú y sus subcuencas.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Parámetros morfométricos determinados en la cuenca del A° Chapaleofú y sus subcuencas.

Parámetro	Subcuenca Chapaleofú Chico	Subcuenca Chapaleofú Grande	Subcuenca Chapaleofú	Cuenca A° Chapaleofú
Área (km ²)	448	608	528	1600
Perímetro (km)	98	122	109	240
Perímetro 3D (km)	99	123	109	241
Diferencia de altura (m)	322	359	121	401
Longitud axial (km)	32	43	32	75
Ancho promedio (km)	13	13	15	21
Coefficiente Gravelius (adimensional)	1,32	1,41	1,35	1,69
Factor de forma (adimensional)	0,41	0,31	0,49	0,27
Longitud del curso principal (km)	41	52	37	89
Longitud recta del cauce (km)	33	41	32	74
Longitud total del drenaje (km)	55	148	59	26
Coefficiente de sinuosidad (adimensional)	1,25	1,25	1,12	1,20
Densidad de drenaje (km/km ²)	0,12	0,24	0,11	0,16
Coefficiente de rugosidad (adimensional)	2585	1440	1072	2455
Diferencia altura arroyo (m)	115	157	53	202
Pendiente (m/m)	0,02	0,03	0,01	0,02
Pendiente (%)	2,79	3,03	1,46	2,28
Tiempo de concentración Kirpich (h)	4,61	5,33	5,39	10,73
Coefficiente de Circularidad	0,22	0,20	0,21	0,14

Fuente: elaboración propia.

En las entrevistas realizadas a productores rurales se identificaron prácticas que afectan a las características morfométricas de la cuenca. En la zona de llanuras, una productora dijo que en época de inundaciones, para sacar el agua de sus campos algunos productores “hacen canales dentro del campo que perjudican al resto” (Figura 24).

Figura 24. Canalización del arroyo en zona de llanura, subcuenca del arroyo Chapaleofú.



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2)

El problema de las inundaciones en la zona de llanuras originó reclamos por parte de la población para dragar el arroyo y evitar desbordes pero “desde provincia nunca se hicieron eco”. Para remarcar la antigüedad del conflicto la productora dijo: “mi suegro tenía el mismo problema hace muchísimos años”.

Un productor de la zona de serranías por cuyo campo pasa un arroyo dijo que “siempre hubo buen caudal hasta que un vecino hizo un dique con piedras para tener agua, hubo algunos vecinos que se quejaron, y ahora viene muchos menos, acá quejarse es en vano, cuando viene la solución a vos ya se te murieron las vacas”.

Con respecto a inundaciones sufridas, una productora de la zona de llanura, cuyo campo es lindero al arroyo Chapaleofú, dijo:

- “cuando llueve el caudal inunda desde 60 a 80 hectáreas”.
- “En el año 2012 tuvimos dos meses con agua, ese invierno tuvimos hacienda en la calle. Fue terrible para toda la zona”.

El año 2012 coincidió con un evento extremo en agosto, donde hubo una precipitación de 330 mm para la Estación Tandil Aero (Barranquero, 2015), siendo que el promedio modular durante los años 1900 a 2016 para esta estación en el mes de agosto es de 48 mm (Ruiz de Galarreta, 2006, página 66).

El resto de los productores dijo no tener problemas de inundaciones en sus campos. Un productor ubicado en un cerro en las cercanías de Gardey dijo: - “cuando llueve el arroyo se desborda en el camino que va a Gardey. De hecho el ingreso a Gardey por la Ruta 226 se inunda, 200 metros bajo el agua queda”.

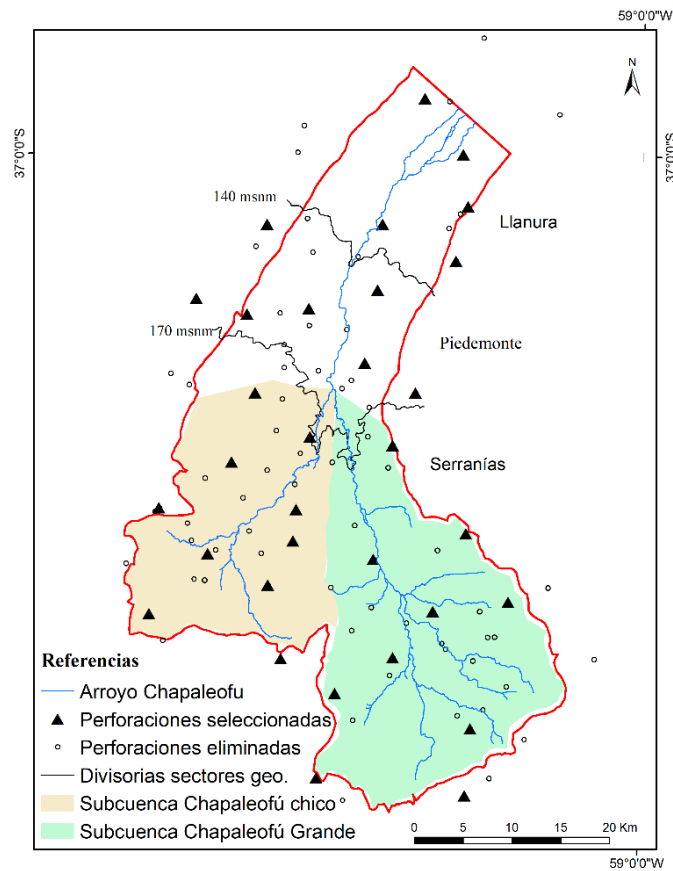
Se detectaron dos zonas problemáticas en cuanto a inundaciones: la zona de llanura por la escasez de pendientes y la zona cercana del acceso a Gardey por la Ruta Nacional 226, cerca de la cual confluyen los arroyos Chapaleofú Chico y Grande. En esta zona la gravedad de las inundaciones llevaron el tema a los medios de comunicación locales (Gardey bajo el agua, 24 de marzo de 2022).

4.3. Diseño de la red monitorea

4.3.1. Definición de sitios de muestreo del recurso superficial y subterráneo

De las 104 perforaciones censadas se seleccionaron 32 para realizar el censo preliminar: 9 (28%) se encontraron dentro de la subcuenca del arroyo Chapaleofú Grande, 7 (22%) dentro de la subcuenca del Chapaleofú Chico, 8 (25%) dentro de la cuenca del arroyo Chapaleofú propiamente dicha, y las 8 (25%) restantes se ubicaron por fuera del límite definido a priori para la cuenca con el fin de verificarlo, especialmente en el sector de llanuras. Los 32 puntos se dividieron en los diferentes sectores geomorfológicos de la siguiente manera: 20 (62%) en el sector de serranías, 7 (22%) en la zona de piedemonte y 5 (16%) en el sector de llanura (Figura 25). La mayor representatividad en cuanto a cantidad de perforaciones está en el sector de serranías y piedemonte debido a la mayor extensión espacial de estos sectores en la cuenca.

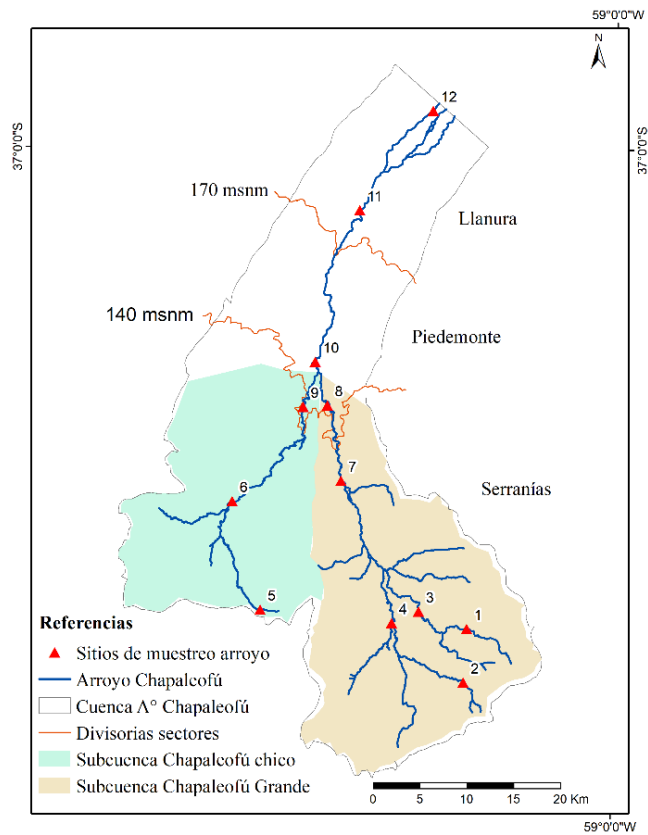
Figura 25. Red monitora de agua subterránea para el censo preliminar (noviembre de 2019) de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2)

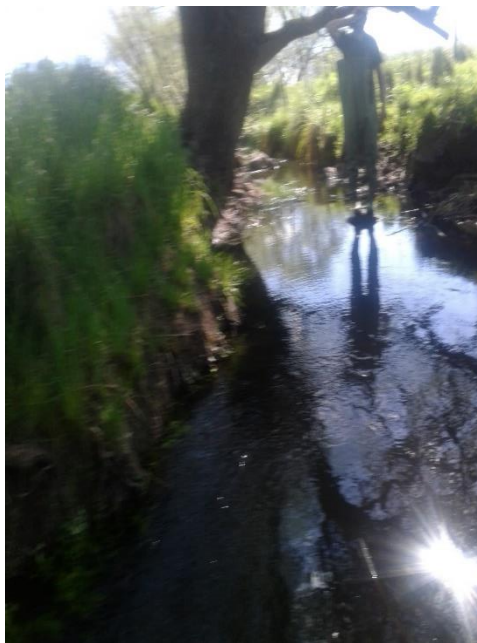
Para la red monitora de agua superficial se realizó un censo preliminar con doce sitios de muestreo, 6 se ubicaron en la subcuenca del arroyo Chapaleofú Grande, 3 en la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico y los 3 restantes en el Chapaleofú propiamente dicho (Figura 26), que se forma luego de la unión de los arroyos antes mencionados. En cuanto a los sectores geomorfológicos, 7 sitios de muestreo se ubicaron en las serranías, 3 en el piedemonte y 2 en la llanura.

Figura 26. Red monitorea de agua superficial para el censo preliminar del arroyo Chapaleofú y sus tributarios.



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2).

Figura 27. Sitio de muestreo A1. Zona de serranías.



Fuente: Fotografía del autor.

Figura 28. Sitio de muestreo A2. Zona de serranías.



Fuente: Fotografía del autor.

Figura 29. Sitio de muestreo A3. Zona de serranías.



Fuente: Fotografía del autor.

Figura 30. Sitio de muestreo A4. Zona de serranías.



Fuente: Fotografía del autor.

Figura 31. Sitio de muestreo A5. Zona de serranías.



Fuente: Fotografía del autor.

Figura 32. Sitio de muestreo A6. Zona de serranías.



Fuente: Fotografía del autor

Figura 33. Sitio de muestreo A7. Zona de serranías.



Fuente: fotografía del autor.

Figura 34. Sitio de muestreo A8. Zona de serranías.



Fuente: Fotografía del autor.

Figura 35. Sitio de muestreo A9. Zona de serranías.



Fuente: Fotografía del autor.

Figura 36. Vista de la unión del A° Chapaleofú Chico y Chapaleofú Grande.



Fuente: fotografía del autor

Figura 37. Sitio de muestreo A10. Zona de Piedemonte



Fuente: fotografía del autor.

Figura 38. Sitio de muestreo A11. Zona de llanura.



Fuente: fotografía del autor.

Figura 39. Sitio de muestreo A12. Zona de llanura.



Fuente: fotografía del autor.

4.3.2. Definición de las variables de los medios físico y socioeconómico

Las variables definidas del medio fisicoquímico a ser relevadas en el recurso hídrico subterráneo fueron las siguientes: conductividad eléctrica, pH, temperatura, cationes y aniones mayoritarios y nitratos. Las variables del medio socioeconómico a ser relevadas durante los muestreos fueron: mantenimiento de la perforación, encamisado, uso de suelo en el lote de la perforación y uso de suelo en el establecimiento. Como se detallará en el apartado 4.5 se realizó el censo preliminar con 32 perforaciones y se eliminaron cuatro perforaciones que presentaron altas concentraciones de nitratos. La red monitorea definitiva con la que se realizaron los cuatro muestreos estacionales a lo largo de un año quedó compuesta por 28 perforaciones.

Las variables del medio fisicoquímico a ser relevadas en el recurso hídrico superficial fueron las mismas que en agua subterránea, con los agregados de caudal y oxígeno disuelto.

Las variables del medio socioeconómico a ser relevadas en relación al recurso hídrico superficial fueron: uso de suelo en el margen derecho del arroyo, uso de suelo en margen izquierdo del arroyo, uso de suelo aguas abajo y uso de suelo aguas arriba.

Durante el censo de perforaciones se detectó una escasa población permanente viviendo en las zonas rurales. Esta dinámica poblacional quedó reflejada en las entrevistas realizadas con las siguientes frases:

- “no hay personal viviendo permanentemente en los campos, vienen temporalmente. Son todos de siembra”
- “debe haber un 30% de gente de lo que había hace 40, 50 años. En un campo donde había 10 personas ahora hay uno, dos o tres. Y hacen el mismo trabajo con maquinaria”.
- “Vos recorrés y los campos están vacíos, ya no hay gente como antes, están los peones, pero se van al pueblo. Van y vienen”.

4.4. Clima

Análisis de precipitaciones

Como se detalló en la metodología, para el análisis modular de precipitaciones se consideraron los datos de la Estación Tandil Aero en el período 1900-2016.

Las precipitaciones anuales analizadas en este estudio fueron superiores a las del balance modular (849 mm) en el año 2020 (901 mm) y menores a dicho balance en los años 2019 (764 mm) y 2021 (800 mm).

La evolución de la precipitación mensual en los años 2019, 2020 y 2021 muestra una irregularidad muy marcada si se compara cada mes con el mismo mes del año siguiente (Figura 40). A pesar de ello, si se observa la totalidad del comportamiento anual respecto a la media mensual modular, puede decirse que en los tres casos hay un descenso de la precipitación en los meses de otoño e invierno respecto a los de primavera y verano, con excepciones en algunos meses en particular.

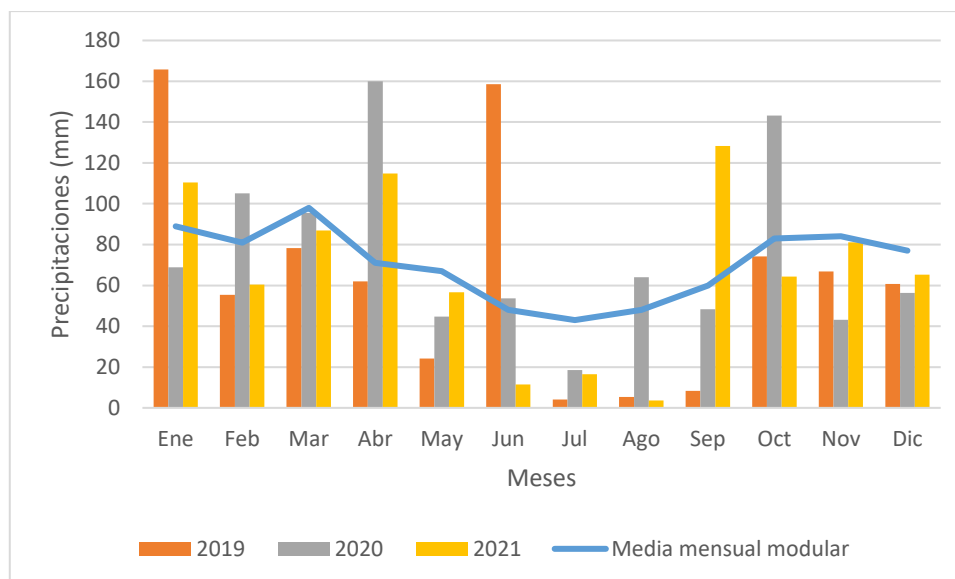
Tabla 7. Concentración de las precipitaciones a lo largo del período de estudio (2019-2021) para la Estación Aero Tandil.

Año	Total precipitaciones (mm)	Octubre-marzo (mm)	Precipitaciones (%)	Abril-septiembre (mm)	Precipitaciones (%)
2019	764	501	66	262	34
2020	901	512	57	389	43
2021	800	468	58	331	42

Fuente: elaboración propia

Si se observan las precipitaciones de octubre a marzo suman un total de 501 mm para 2019, 512 mm para 2020 y 468 mm en 2021. Estos valores, con respecto al total anual, representan el 65 % para 2019, el 57% para 2020 y el 59 % para 2021, lo que se condice con los datos modulares. En el mismo sentido, en los meses de abril a septiembre se concentran aproximadamente el 40 % de las precipitaciones.

Figura 40. Evolución de la precipitación mensual en los años 2019, 2020 y 2021 para la Estación Aero Tandil.



Fuente: elaboración propia.

Análisis del balance hídrico de los años 2019, 2020 y 2021

Los años 2019 y 2020 pueden considerarse húmedos ya que presentaron excesos mayores al balance modular, principalmente el año 2020. El año 2021 puede considerarse seco ya que presentó un exceso mucho menor al del balance modular y un mayor déficit.

De acuerdo a las características edáficas detalladas en la sección (2.1.4) se consideró un almacenamiento máximo de 150 mm, siendo este el que mayor superficie de la cuenca ocupa (51%).

Tabla 8. Balance hídrico del año 2019 (Estación Aero Tandil)

2019														Total modular
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
Precipitación (P)	166	55	78	62	24	159	4	5	8	74	67	61	764	849
Evapotranspiración (EVTP)	116	91	73	51	32	25	16	21	33	54	88	105	704	729
P-EVTP	49	-36	6	11	-8	134	-11	-15	-25	20	-21	-45		
Perdida potencial	0	-36	0	0	-8	0	-11	-27	-40	0	-21	-66		
Almacenaje	150	117	123	134	142	150	139	125	114	134	131	97		
Diferencia de almacenaje	0	-33	6	11	8	8	-11	-14	-11	20	-3	-34		
Déficit	0	3	0	0	0	0	0	1	14	0	18	11	46	26
Exceso	49	0	0	0	0	126	0	0	0	0	0	0	175	146
EVTP Real	116	88	73	51	32	25	15	19	19	54	70	95	658	703

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9. Balance hídrico del año 2020 (Estación Aero Tandil).

2020														Total modular
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
Precipitación (P)	69	105	96	160	45	54	19	64	48	143	43	56	901	849
Evapotranspiración (EVTP)	113	91	93	48	33	19	15	25	32	53	86	111	721	729
P-EVTP	-44	14	3	112	11	34	4	39	16	90	-43	-55		
Perdida potencial	-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-43	-98		
Almacenaje	82	96	99	150	150	150	150	150	150	150	112	77		
Diferencia de Almacenaje	-15	14	3	51	0	0	0	0	0	0	-38	-35		
Déficit	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	20	54	26
Exceso	0	0	0	61	11	34	4	39	16	90	0	0	255	146
EVTP real	84	91	93	48	33	19	15	25	32	53	81	91	667	703

Fuente: elaboración propia.

Tabla 10. Balance hídrico del año 2021 (Estación Aero Tandil).

	2021													Total modular
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
Precipitación (P)	110	60	87	115	57	11	17	4	128	64	81	65	800	849
Evapotranspiración (EVTP)	121	94	81	64	28	18	17	22	39	60	84	117	744	729
P-EVTP	-10	-33	6	51	28	-7	0	-18	89	4	-3	-51		
Perdida potencial	-108	-141	0	0	0	-7	-7	-19	0	0	-3	-55		
Almacenaje	72	58	64	115	143	143	143	131	150	150	147	104		
Diferencia de almacenaje	-5	-14	6	51	28	0	0	-12	19	0	-3	-43		
Déficit	5	19	0	0	0	7	0	6	0	0	0	8	47	26
Exceso	0	0	0	0	0	0	0	0	70	4	0	0	75	146
EVTP real	115	74	81	64	28	11	17	16	39	60	84	108	698	703

Fuente: elaboración propia.

Como se mostró en la Tabla 2 de la sección 2.1.3 el balance modular presenta déficit en los meses de diciembre, enero y febrero; y excesos en los meses de mayo a noviembre. Si se compara el balance modular con los balances de los años 2019, 2020 y 2021, observamos que la ocurrencia de déficits y excesos presentan una mayor irregularidad a lo largo del año, no se producen en una serie de meses en forma continuada. El año 2020 fue el más similar al balance modular, presentó excesos en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre; y déficit en los meses de noviembre, diciembre y enero.

El año 2019 distó mucho del modular. Únicamente se asemeja por presentar déficits en diciembre y febrero; y presentar excesos en junio.

El año 2021 presentó déficit en los meses de diciembre, enero y febrero, al igual que el balance modular pero también junio y agosto, a diferencia de éste; únicamente presentó excesos en septiembre y octubre.

4.4. Caracterización del recurso hídrico subterráneo

4.4.1. Hidrodinámica

Mapa equipotencial y su interpretación

En el censo preliminar de noviembre de 2019 los niveles estáticos presentaron valores entre un máximo de 288 msnm en el sector de serranía, y un mínimo de 119 msnm en el sector de llanura.

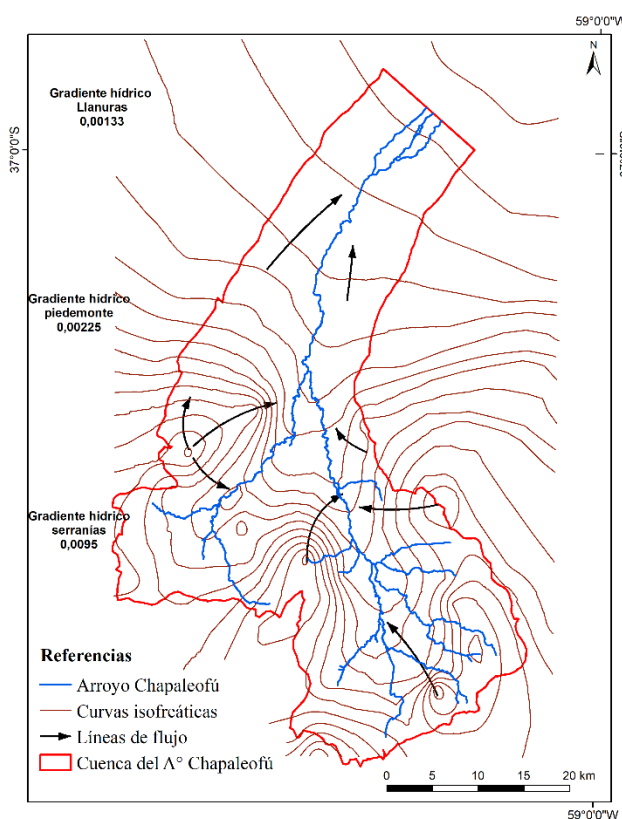
El mapa equipotencial (Figura 41) muestra un sentido de flujo hacia el NE en concordancia con las características morfológicas superficiales. La morfología de la superficie freática es de tipo radial con tendencia a plana hacia el N-NE.

En el sector de llanura las líneas de flujo muestran una dirección de circulación casi paralelas al arroyo Chapaleofú, que confluyen en el mismo. En el piedemonte las líneas de flujo también se muestran paralelas al arroyo y confluyen en el mismo. En el sector de serranías, más cercano al piedemonte, las líneas de flujo son casi perpendiculares a los cursos de agua y confluyen en el mismo. En las zonas de serranías con mayores alturas se detectan cursos superficiales influentes y efímeros. El sentido de las líneas de flujo muestran el aporte del agua subterránea al arroyo en casi la totalidad de la cuenca.

En el sector de llanura el gradiente hidráulico promedio fue de 0,00133. En el piedemonte el mismo fue de 0,00225. Y en el sector de serranías fue de 0,0092.

Para el cálculo de velocidad efectiva se tomó una permeabilidad de 12 m/día -teniendo en cuenta datos estimados por Barranquero (2010) en la cuenca lindera del arroyo Langueyú- y una porosidad efectiva del 10% para el material limo arcilloso y arenoso teniendo en cuenta los datos de Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005). El valor de velocidad efectiva obtenido para la llanura fue de 0,159 m/día. Para el sector de piedemonte fue de 0,27 m/día. Y para el sector de serranías fue de 1,104 m/día. La velocidad de escurrimiento fue mayor en las serranías, disminuyó hacia el piedemonte, y más aún hacia la llanura.

Figura 41. Mapa equipotencial de la cuenca del arroyo Chapaleofú (noviembre 2019)

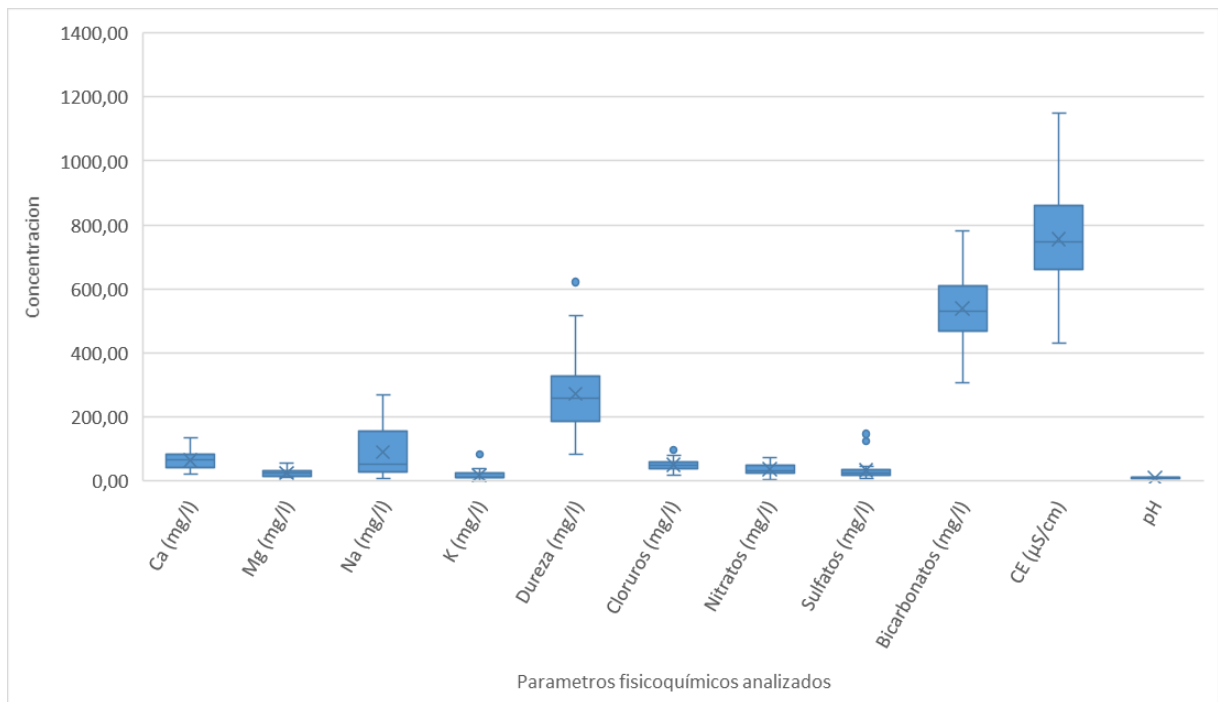


Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2)

4.4.2. Hidroquímica

En la Tabla 12 se muestra el BoxPlot de los estadísticos descriptivos de las variables del medio fisicoquímico para el conjunto de datos del muestreo realizado en noviembre de 2019, correspondiente al censo preliminar, ya que incluye mayor cantidad de sitios de muestreo que los cuatro censos estacionales. Los datos que presentan una mayor desviación estándar son la conductividad eléctrica (CE), los bicarbonatos, la dureza, los nitratos y los sulfatos. Estos parámetros tienen mayor dispersión de los datos y para ellos la media no es tan representativa como para aquellos que muestran una desviación estándar menor.

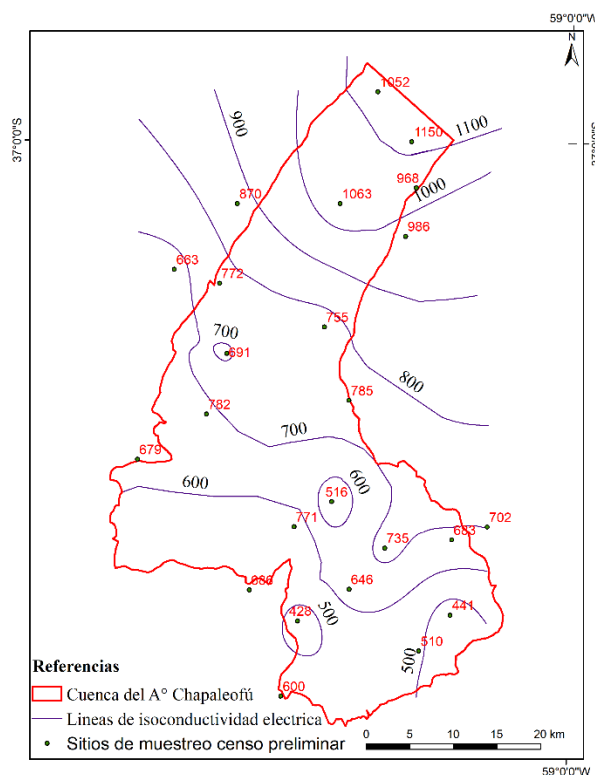
Tabla 11. Boxplot de variables fisicoquímicas del recurso hídrico subterráneo, censo preliminar (n=32) de la cuenca del arroyo Chapaleofú



Fuente: elaboración propia.

Las aguas poseen bajo contenido salino con una CE promedio de 783 (mediana: 686) $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir 548 mg/l de sales disueltas totales. El contenido de sales disueltas aumenta, como es lógico, hacia el NE, es decir en el sentido de flujo por el mayor tiempo de contacto agua-sedimento. Mientras que en el sector serrano se presenta un valor promedio de 720 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir de 504 mg/l de sales totales disueltas; hacia la descarga local de la cuenca el promedio de la conductividad eléctrica es de 1006 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En la Figura 42 se presenta la variación espacial de la CE. Se visualiza el aumento en sentido NE y que en la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico se presentan valores más altos que en la del Grande. En este caso, la expresión del parámetro es la manifestación de las características hidrodinámicas de la cuenca en estudio, tratándose de aguas jóvenes que en general no han estado durante largos períodos de tiempo en contacto con los materiales del subsuelo por lo que la incorporación de sales no es elevada.

Figura 42. Mapa de isoconductividad eléctrica del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del arroyo Chapaleofú (Censo preliminar, noviembre de 2019)



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2)

El pH es en todos los casos igual o superior a la neutralidad, con un promedio de la totalidad de las determinaciones de 7,8 (mediana:7,7).

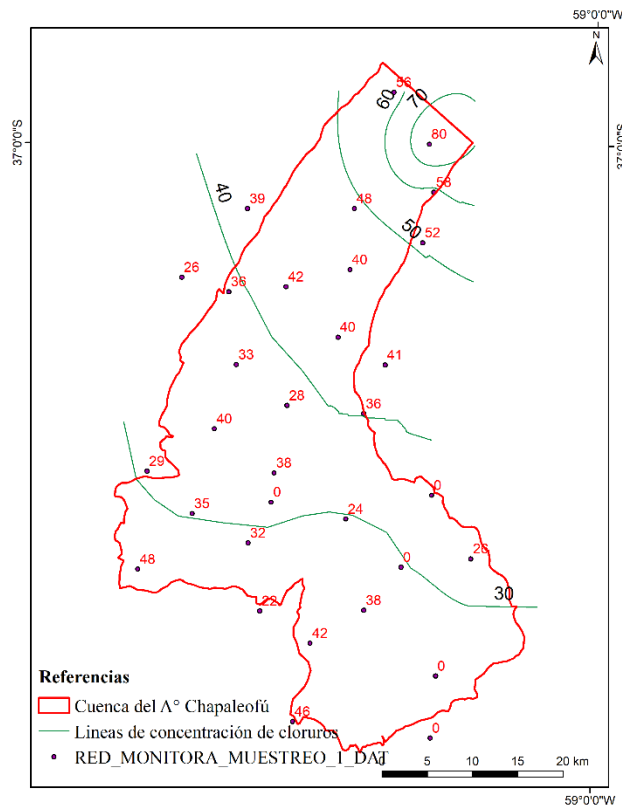
El bicarbonato constituye el anión predominante con contenidos entre 305 y 779 mg/l (mediana: 525 mg/l). Este elemento aumenta en el sentido del flujo, siendo las muestras 24 y 23 las que presentaron valores superiores a 750 mg/l, ambas ubicadas en la zona de llanura.

El cloruro presenta un promedio de 53 mg/l (mediana: 48mg/l). Los mayores valores, por encima de 70 mg/l, se restringen a las perforaciones ubicadas en el sector de llanura. En la Figura 43 se observa la distribución espacial de los cloruros; en dicha representación no se tuvieron en cuenta los tres sitios con mayor concentración, ya que se corroboró su correspondencia con contaminaciones puntuales. En uno de estos tres sitios funcionó un tambo hasta ocho años antes de la toma de la muestra; en otro de ellos funciona un almacén que presentó un pozo ciego a una distancia menor a 7 metros de la perforación; y el restante se presentó una gran concentración de ganado en la zona de la perforación.

Las concentraciones de sulfato halladas en la cuenca son bajas, siendo su media de 34 mg/l (mediana: 24mg/l). Considerados en meq/l representan entre un 2 y 16% del contenido aniónico total.

El análisis de la dureza da un promedio de 203 mg/l (mediana 174 mg/l), lo que se encuentra dentro del máximo permitido por el CAA que es de 400 mg/l. Una sola muestra excede este límite y se ubica en el sector de serranías. Las concentraciones elevadas de este parámetro se asocian a inconvenientes de incrustaciones en cañerías y dificultades técnicas en el funcionamiento de maquinaria que podrían afectar una producción láctea o una industria agroalimenticia propia de esta región rural, pero no a consecuencias sobre la salud humana por el consumo de agua de bebida.

Figura 43. Mapa de iso-concentración de cloruros del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)

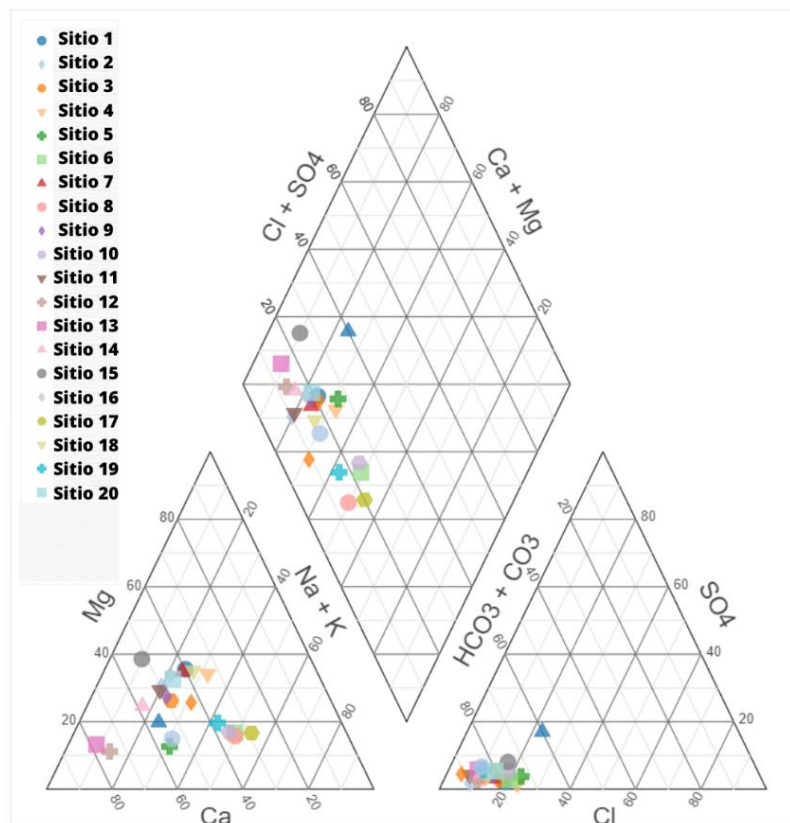


Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2).

A continuación se presenta la tipificación de las aguas mediante la utilización de los diagramas de Piper, con el fin de analizar las características químicas del agua de la cuenca en los diferentes sectores de la misma.

En el sector de serranías de las 19 muestras analizadas 18 presentan una composición bicarbonatada cálcica y/o magnésica, con proporciones muy bajas de cloruros y sulfatos en la composición iónica (Figura 44).

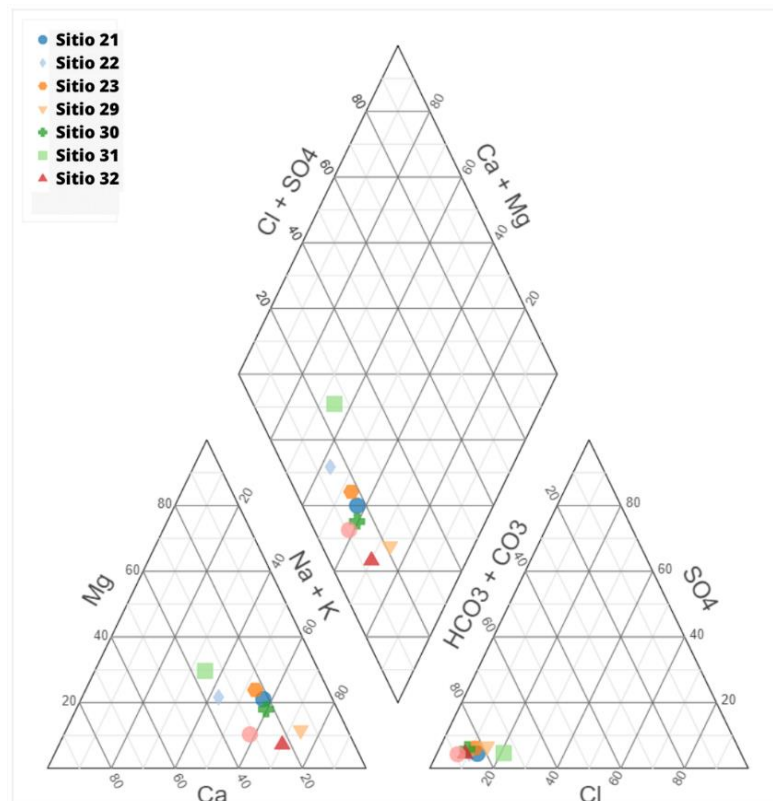
Figura 44. Diagrama de Piper de la zona de serranías en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 45 se observa la composición química de las muestras correspondientes a la zona de piedemonte; en ellas se puede ver que de las 7 muestras analizadas, cinco (71%) presentan una composición bicarbonatada cálcica, y las dos restantes (29%) una composición bicarbonatada sódica.

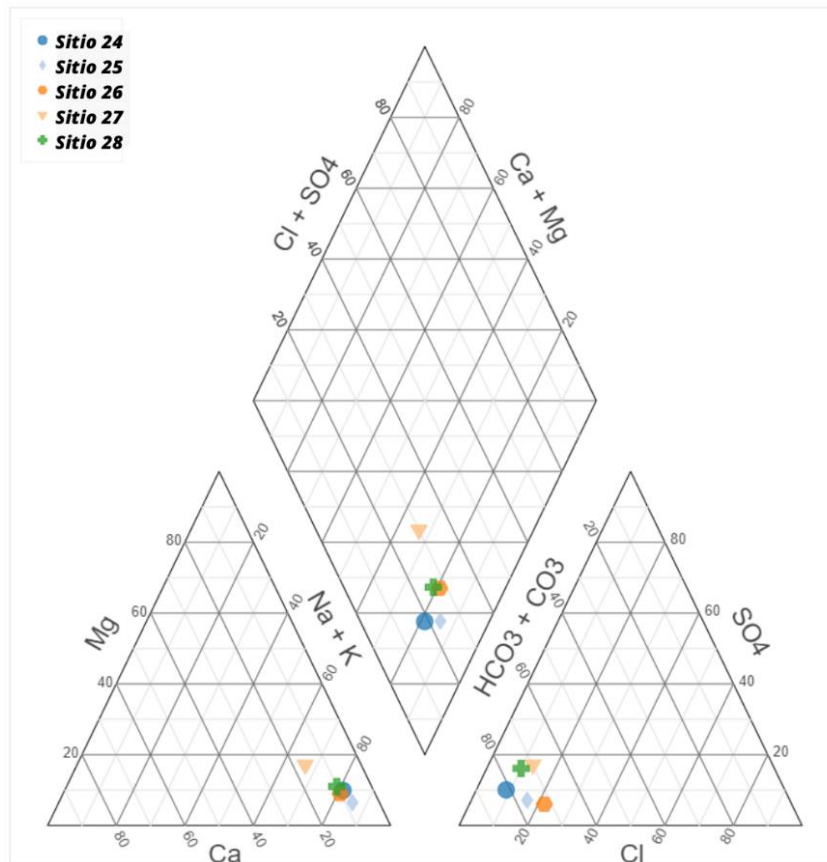
Figura 45. Diagrama de Piper de la zona de piedemonte en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019).



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 46 se observa la composición química de las muestras correspondientes a la zona de llanura, las cuales presentan en su totalidad una composición bicarbonatada sódica.

Figura 46. Diagrama de Piper de la zona de llanura en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)



Fuente: elaboración propia.

La variación de la composición del agua de bicarbonatada cálcica/magnésica en el sector de serranías a bicarbonatada sódica en el sector de llanura se debe al intercambio catiónico que se produce entre el calcio y el magnesio por el sodio a medida que el agua circula por la cuenca.

Para analizar la asociación entre las diferentes variables se realizó una matriz de correlaciones entre los datos fisicoquímicos analizados, utilizando el software Rstudio (Tabla 13).

Tabla 12. Matriz de correlaciones de parámetros fisicoquímicos del recurso hídrico subterráneo en la cuenca del arroyo Chapaleofù

	CE	Bicarbonatos	Calcio	Cloruros	Dureza	Potasio	Magnesio	Sodio	Nitratos	pH	Sulfatos
CE	1,00	0,00*	0,05*	0,00*	0,00*	0,96	0,01*	0,00*	0,00*	0,67	0,00*
Bicarbonatos	0,76*	1,00	0,60	0,03*	0,00*	0,97	0,01*	0,00*	0,40	0,21	0,00*
Calcio	0,32 *	0,08	1,00	0,04*	0,60	0,65	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,50
Cloruros	0,73*	0,36*	0,35*	1,00	0,03*	0,03*	0,00*	0,17	0,00*	0,30	0,00*
Dureza	0,43*	0,25*	0,93	0,46*	1,00	0,97	0,01*	0,00*	0,40	0,21	0,00*
Potasio	0,00	0,00	0,07	0,36*	0,20	1,00	0,05	0,23	0,78	0,00*	0,39
Magnesio	0,44*	0,41*	0,52*	0,48*	0,81*	0,33	1,00	0,24	0,01*	0,03*	0,42
Sodio	0,52*	0,58*	-0,51*	0,23	-0,45*	-0,20	-0,20	1,00	0,54	0,00*	0,00*
Nitratos	0,57*	0,14	0,70*	0,49*	0,68	-0,04	-0,04*	-0,10	1,00	0,10	0,04*
pH	0,07	0,21	-0,60*	-0,17	-0,58	-0,47*	-0,47*	-0,64*	-0,28	1,00	0,08
Sulfatos	0,77*	0,60*	0,11	0,49*	0,14*	-0,14	-0,14	0,53*	0,35*	0,29	1,00

*Correlaciones significativas (p-valor<0,05)

Fuente: elaboración propia

Las correlaciones se clasificaron en inexistentes (entre 0 y 0,10), débiles (entre 0,10 y 0,29), moderadas (entre 0,30 y 0,50) y fuertes (entre 0,50 y 1,00).

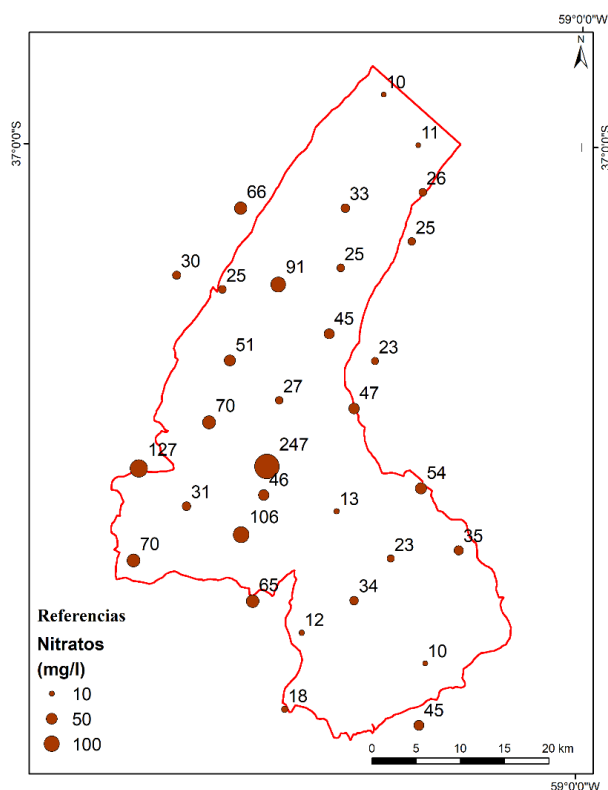
Las variables calcio y sodio mostraron una correlación negativa fuerte (-0,51) y significativa. Esto quiere decir que a medida que aumenta la concentración de sodio disminuye la de calcio, confirmando el intercambio catiónico entre estos dos iones.

La dureza presentó una correlación positiva fuerte con el calcio y el magnesio ya que las concentraciones de estos dos conforman la dureza total del agua.

La CE presentó correlación positiva fuerte y significativa con los cloruros (0,73), los bicarbonatos (0,76), los sulfatos (0,77), el sodio (0,52) y nitratos (57). Esta correlación se debe a que el agua en su circulación hacia el NE incorpora cloruros, que son conservativos, y sodio, por lo que la concentración de estos dos iones aumenta a medida que aumenta la CE. La correspondencia también con bicarbonatos y sulfatos está mostrando que no se ha llegado a la zona de descarga regional propiamente dicha, sino que el sector NE de la cuenca correspondería a la descarga local.

La Figura 47 muestra la distribución espacial del nitrato. Los valores de la concentración de nitratos en la cuenca variaron entre 2 y 246 mg/l. En este caso, no puede analizarse el comportamiento espacial en el conjunto de la cuenca en relación al flujo, porque los nitratos son mayoritariamente aportados por actividades antrópicas y por lo tanto su comportamiento es puntual, asociado a la carga contaminante que sea su fuente. Es por esto que en la Figura 47 se muestran los valores puntuales estableciendo una correspondencia directa entre el tamaño de los círculos que los representan y la concentración de nitrato, para que se visualice la situación en el conjunto de la cuenca.

Figura 47. Concentración de nitratos en la cuenca del A° Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019).



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2)

Durante las entrevistas realizadas se consultó a los productores acerca de la cantidad de sarro del agua. Los entrevistados de la zona de serranías respondieron:

- “en las cañerías se hacen unas costras terribles”
- “el agua es durísima”.
- “es muy dura pero no tiene que ver con la contaminación”

En la zona de piedemonte y llanura, en cambio, los entrevistados respondieron

- “nada que ver comparado a otros lugares, acá el sarro es muy poquito, inclusive menos que en Tandil.”
- “cuando se fumiga lleva mucho menos ablandador que en otros lugares”.

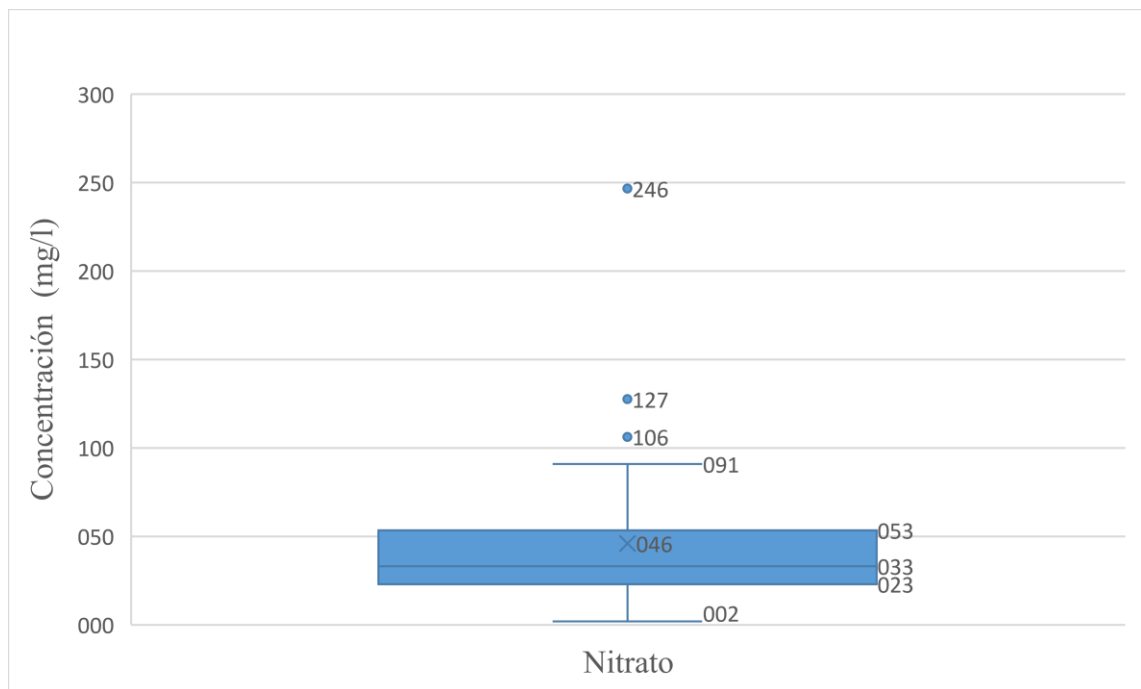
Se observó que en superficie se reconocen los diferentes tipos de agua que hay en la cuenca producto del intercambio catiónico entre el sodio y el calcio (de bicarbonatada cálcica-magnésica a bicarbonatada sódica), como esto afecta a los productores (ya sea por “tapadura de cañerías” o “tener que echar” mayor o menor cantidad de ablandador a las fumigadoras), y que en algunos casos se cree que presentan menos sarro que en la ciudad (Tandil) por estar en un entorno menos modificado por el hombre.

En cuanto a si conocen el motivo del sarro la mayoría dijo que no y uno solo respondió:
- “por la concentración de sales”.

4.4.3. Relación entre variables de manejo y calidad del agua subterránea

Se realizó un BoxPlot de la concentración de nitratos (Figura 48) para identificar datos atípicos y eliminar de la red monitorea aquellos que más se alejan del fondo geoquímico de nitratos determinado para la región (Ruiz de Galarreta et al., 2005). Se identificaron cuatro sitios que divergen del resto de los puntos, éstos son los que presentan una mayor concentración del ión. Se corresponden con: un ex tambo cerrado ocho años atrás, un almacén con el pozo ciego muy cercano a la perforación para extraer agua, y dos sitios cuyo origen del nitrato se estima que puede ser el uso excesivo de fertilizantes.

Figura 48. BoxPlot de concentración de nitratos para el recurso hídrico subterráneo de la cuenca del arroyo Chapaleofú..



Fuente: elaboración propia.

Las muestras según su concentración de nitratos se clasificaron en potable y no potable (Tablas 14 y 15). Según lo establecido en el CAA fueron clasificadas como potables aquellas muestras que presentaron concentraciones de nitratos de hasta 45 mg/l y como no potables aquellas muestras que presentaron valores mayores a 45 mg/l. De acuerdo a la clasificación detallada, 21 muestras (66%) presentaron agua potable y 11 (34%) sitios presentaron agua no potable. El valor medio de la campaña (45,9 mg/l) fue apenas superior al límite establecido por el CAA.

Tabla 13. Criterio para clasificación de agua subterránea (CAA).

Concentración de nitratos (mg/l)	Calidad
Hasta 45	Potable
Mayor a 45	No potable

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Clasificación de las muestras de agua subterránea de la red monitorea de la cuenca del arroyo Chapaleofú (n=32) (censo preliminar, noviembre de 2019).

Sitio	Nitratos (mg/l)	Calidad	Sitio	Nitratos (mg/l)	Calidad
1	54	No potable	17	70	No potable
2	35	Potable	18	246	No potable
3	10	Potable	19	27	Potable
4	45	Potable	20	51	No potable
5	23	Potable	21	23	Potable
6	34	Potable	22	45	Potable
7	18	Potable	23	25	Potable
8	12	Potable	24	33	Potable
9	65	No potable	25	26	Potable
10	46	No potable	26	25	Potable
11	13	Potable	27	11	Potable
12	106	No potable	28	10	Potable
13	38	Potable	29	66	No potable
14	70	No potable	30	91	No potable
15	31	Potable	31	25	Potable
16	127	No potable	32	30	Potable

Fuente: elaboración propia.

Como se explicó en la sección 3.3. en cada uno de los 32 sitios de muestreo se relevaron variables relativas al manejo del recurso: mantenimiento, encamisado, uso de suelo en el lote de la perforación y uso de suelo en el establecimiento. Para cada una de las mencionadas variables se obtuvieron los resultados que se observan a continuación (Tablas 16, 17, 18 y 19).

Tabla 15. Mantenimiento de las perforaciones censadas en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019).

Mantenimiento	Cantidad de establecimientos	Porcentaje
Muy bueno	7	22%
Bueno	18	56%
Regular	7	22%
Malo	0	0%
Total	32	100%

Fuente: elaboración propia.

Con respecto al mantenimiento en 7 (22%) sitios se consideró muy bueno, en 18 (56%) sitios se consideró bueno y en los 7 (22%) restantes regular.

Tabla 16. Presencia de encamisado en las perforaciones censadas de la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)..

Encamisado	Cantidad de establecimientos	Porcentaje
Si	28	87%
No	4	13%
Total	32	100%

Fuente: elaboración propia.

De las 32 perforaciones utilizadas en el censo preliminar, 28 (87%) presentaron encamisado y las 4 (14%) restantes no.

Tabla 17. Uso de suelo en establecimientos muestreados en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019).

Uso de suelo establecimiento	Cantidad de establecimientos	Porcentaje
Residencial	3	9%
Agricultura	4	13%
Ganadería	7	22%
Mixto	18	56%
Total	32	100%

Fuente: elaboración propia.

De los 32 establecimientos incorporados en el censo preliminar 3 (9%) presentaron un uso residencial, otros 4 (13%) un uso agrícola, 7 (22%) un uso ganadero, y los 18 (56%) restantes uso mixto.

Tabla 18. Uso de suelo en el lote de la perforación de los establecimientos muestreados en la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019).

Uso de suelo lote perforación	Cantidad de establecimientos	Porcentaje
Residencial	20	63%
Ganadería	9	28%
Agricultura	3	9%
Total	32	100%

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a los usos de suelo en los lotes de la perforación, 20 (63%) presentaron un uso residencial, 9 (28%) presentaron un uso ganadero y los 3 (9%) restantes presentaron un uso agrícola.

Se realizó el ANOVA del ion nitrato para analizar si hay diferencias significativas en el comportamiento del mismo dentro de cada variable de manejo. La hipótesis nula es que las medias de nitratos dentro de cada variable son iguales, es decir que las diferencias que se observan son producto del azar. En los casos en que los p-valores se encuentran por encima de 0,05 no hay evidencia estadística para descartar la hipótesis nula. No se tuvieron en cuenta los cuatro sitios que presentaron mala calidad del recurso, los cuáles fueron identificados en el BoxPlot y se considera que no representan las condiciones naturales del recurso hídrico. En todos los casos analizados los p-valores fueron mayores a 0,05, es decir, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la concentración de nitratos y las variables de manejo (Tabla 20) analizadas. Esto quiere decir que la calidad del agua no estaría siendo afectada al momento del estudio por las variables de manejo analizadas en las perforaciones seleccionadas para monitoreo. No se encontró un patrón que explica las variaciones de la concentración de nitratos según las características de las variables de manejo y esto puede ocurrir debido a la heterogeneidad de las características de los sitios de muestreo (ubicación en sector de la cuenca, diferente distribución de perforación.-casa-lotes productivos, actividad realizada e establecimiento) que hacen que sea difícil encontrar parámetros para compararlos.

Tabla 19. Análisis de la varianza entre la concentración de nitrato y cada una de las variables de manejo del recurso (Censo preliminar, noviembre de 2019).

Variables de manejo	p-valor
Mantenimiento	0,3238
Encamisado	0,6064
Uso de lote en perforación	0,4450
Uso de suelo en establecimiento	0,4449

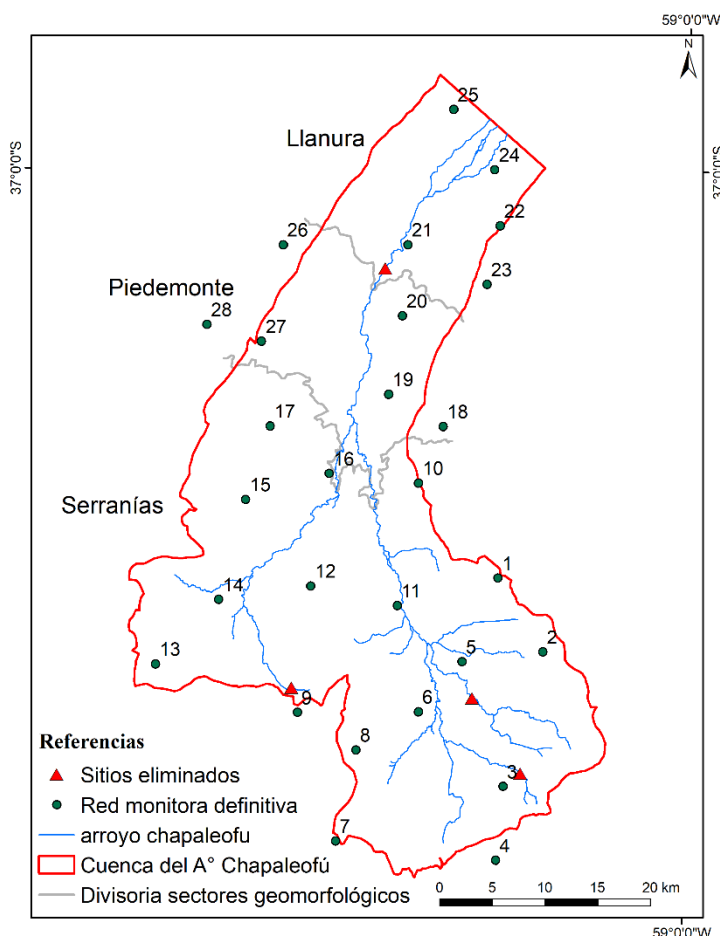
Fuente: elaboración propia

4.4.4. Red ambiental de monitoreo definitiva

Finalmente, se eliminaron los 4 sitios que presentaron una concentración de nitratos mayor a 90 mg/l, ya que no representan la condición del recurso lo más natural posible. Dentro de los 4 sitios que presentaron valores mayores a 90 mg/l, el que mayor concentración presentó (246 mg/l) se trata de un ex tambo que había dejado de funcionar 8 años antes de tomada la muestra. Se estima que el alto valor de nitrato se debe a los efluentes generados por el funcionamiento del tambo, ya que según datos antecedentes es una actividad generadora de altas concentraciones de nitrato (Pessolano et al., 2012 y Cisneros et al., 2016).

El sitio que presentó 91 mg/l de nitratos tiene el pozo de extracción de agua a 7 metros del pozo ciego, y se estima que los nitratos pueden tener origen en el mismo. En los sitios que presentaron valores de 106 y 127mg/l se presume como origen de los nitratos la aplicación de fertilizantes. La red monitorea definitiva constó de 28 perforaciones, de las cuales 17 se ubican en el sector de serranías, 6 en el de piedemonte y las 5 restantes en el sector de llanura (Figura 49).

Figura 49. Red monitora definitiva de agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú para los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021).



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2)

4.4.5. Evaluación de las variaciones en el ciclo anual

A partir de los muestreos realizados en Diciembre de 2020, marzo de 2021, junio de 2021 y septiembre de 2021 se evaluaron las variaciones estacionales de los diferentes parámetros fisicoquímicos.

Una vez eliminados los cuatro sitios que presentaron una concentración de nitratos mayor a 90 mg/l se renombraron los 28 sitios de muestreo para facilitar su análisis como se observa en la Tabla 21.

Tabla 20. Sitios de muestreo renombrados para la red definitiva de muestreo estacional del agua subterránea en la cuenca del arroyo Chapaleofí.

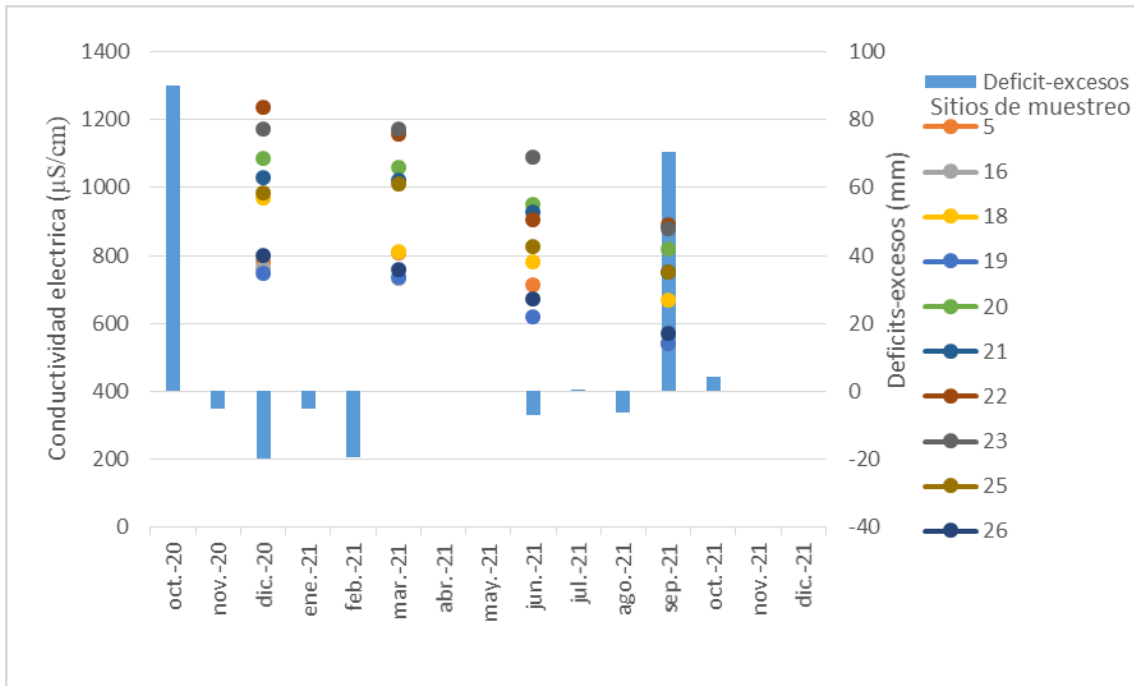
Sitio de muestro	Nueva denominación	Sitio de muestreo	Nueva denominación
1	1	17	15
2	2	18	Eliminado
3	3	19	16
4	4	20	17
5	5	21	18
6	6	22	19
7	7	23	20
8	8	24	21
9	9	25	22
10	10	26	23
11	11	27	24
12	Eliminado	28	25
13	12	29	26
14	13	30	Eliminado
15	14	31	27
16	Eliminado	32	28

Fuente: elaboración propia.

Para analizar las variaciones estacionales se tuvieron en cuenta los diez sitios que presentaron una mayor variación (desvió estándar) en la conductividad eléctrica. Cinco de estos sitios se ubican en la zona de llanura (20, 21, 22, 23 y 25), 3 en la de piedemonte (18, 19 y 26), y dos en la de serranías (5 y 16). Las fluctuaciones de los niveles freáticos en el sector de llanura responden claramente a los excesos y déficit en el balance hídrico, posiblemente por la cercanía del nivel a la superficie, con lo cual es coherente que las variables físico-químicas también fluctúen de manera más marcada que en los sectores de serranías y piedemonte.

De los cuatro muestreos realizados el que presentó mayores valores de conductividad fue el de primavera 2020 (diciembre) excepto en los casos de los puntos 5 y 25 en los cuales el verano 2021 (marzo) fue el que presentó mayores valores. La primavera 2020 coincidió con los momentos de mayor déficit hídrico del año.

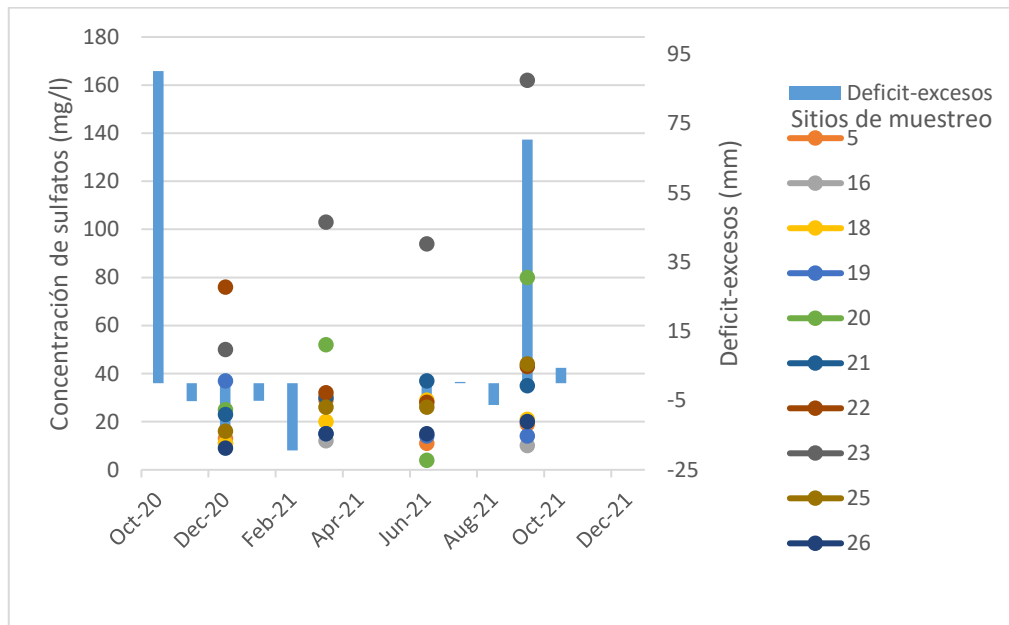
Figura 50. Evolución estacional de la conductividad eléctrica en las perforaciones con mayor variación durante los muestreo estacionales del recurso hídrico subterráneo de la cuenca del arroyo Chapaleofü.



Fuente: elaboración propia.

Al analizar la evolución de cada uno de los aniones en el período desde diciembre de 2020 a septiembre de 2021 se observa que el sulfato es el de comportamiento más uniforme, presentando un promedio de sus desviaciones estándar de 8,88 mg/l (Figura 51).

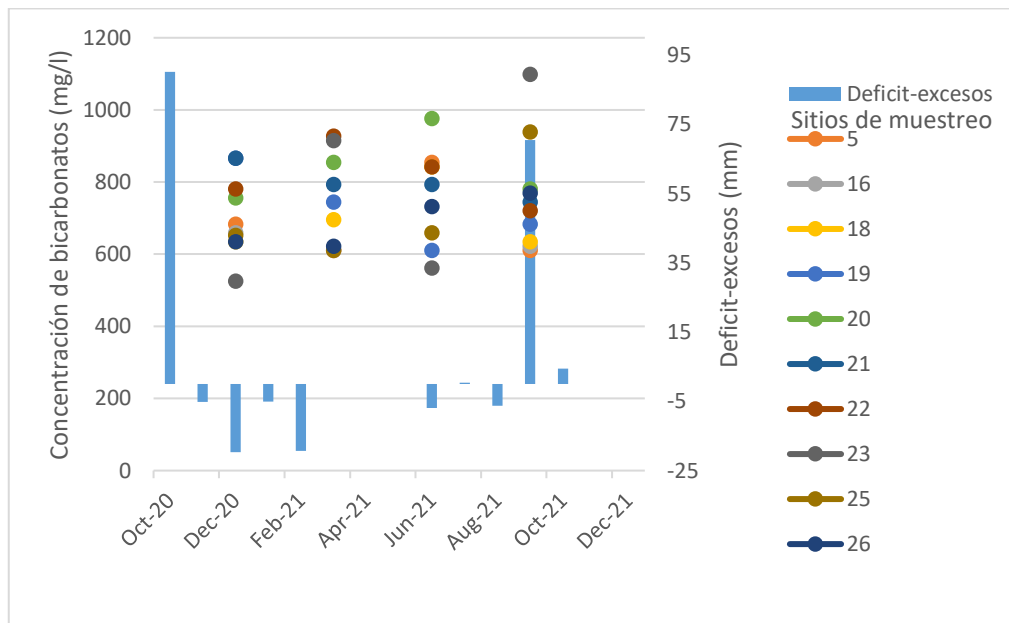
Figura 51. Evolución de la concentración de sulfato en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú durante los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021)



Fuente: elaboración propia.

En la figura 52 se observa la evolución de los bicarbonatos. No se encontró un patrón en la variación de las concentraciones de bicarbonatos a lo largo del año.

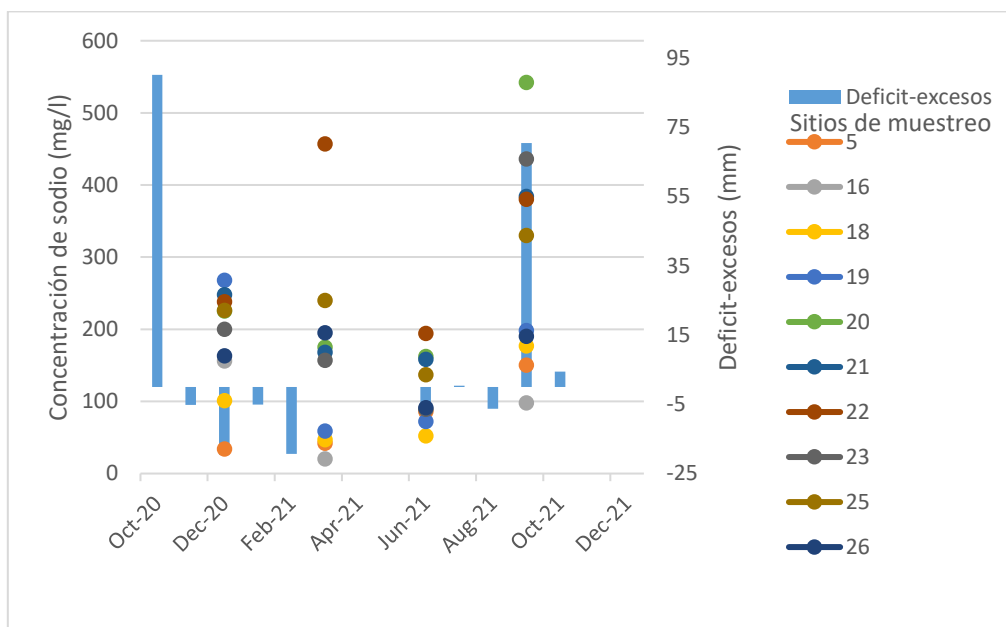
Figura 52. Evolución de la concentración de bicarbonato en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú durante los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021)



Fuente: elaboración propia.

Dentro de los cationes se analizó la evolución temporal del sodio (Figura 53), ya que es uno de los cationes predominantes y del calcio por su importancia en el proceso de intercambio catiónico. Se observó que en los sitios de llanura hay una tendencia muy similar a la conductividad eléctrica de disminución de la concentración a medida que avanzan las campañas de muestreo durante el año. Esto puede deberse a un fenómeno de dilución por precipitaciones. En los sectores de piedemonte y serranías donde la evaporación directa desde el nivel freático juega un rol menos importante las variaciones en la concentración de sodio son mucho menores.

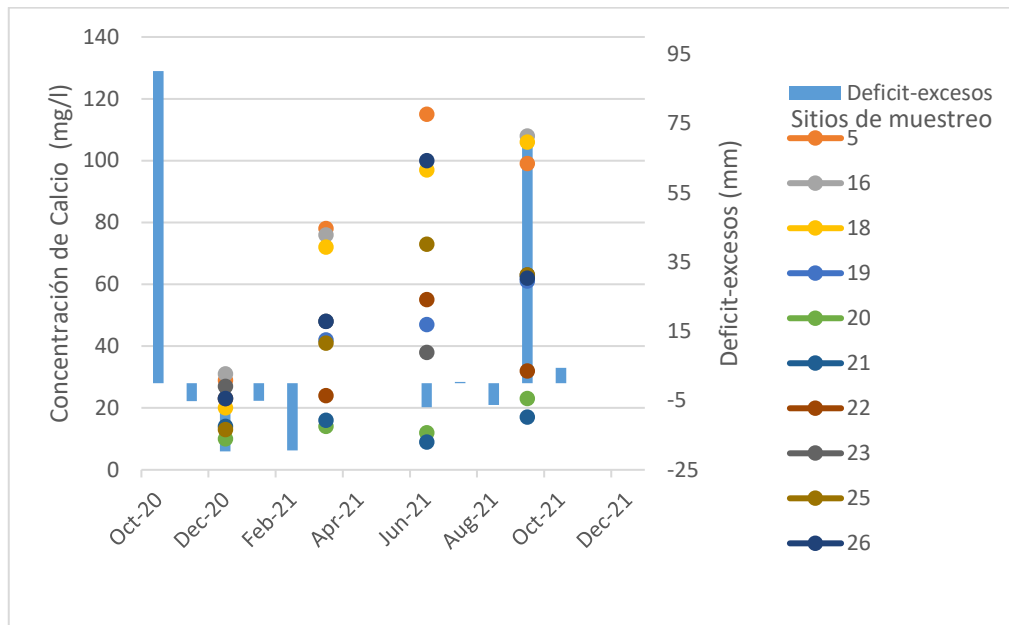
Figura 53. Evolución de la concentración de sodio en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú durante los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021).



Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la evolución del calcio (Figura 54) no se ha podido encontrar un patrón que explique las leves variaciones ocurridas en sus concentraciones.

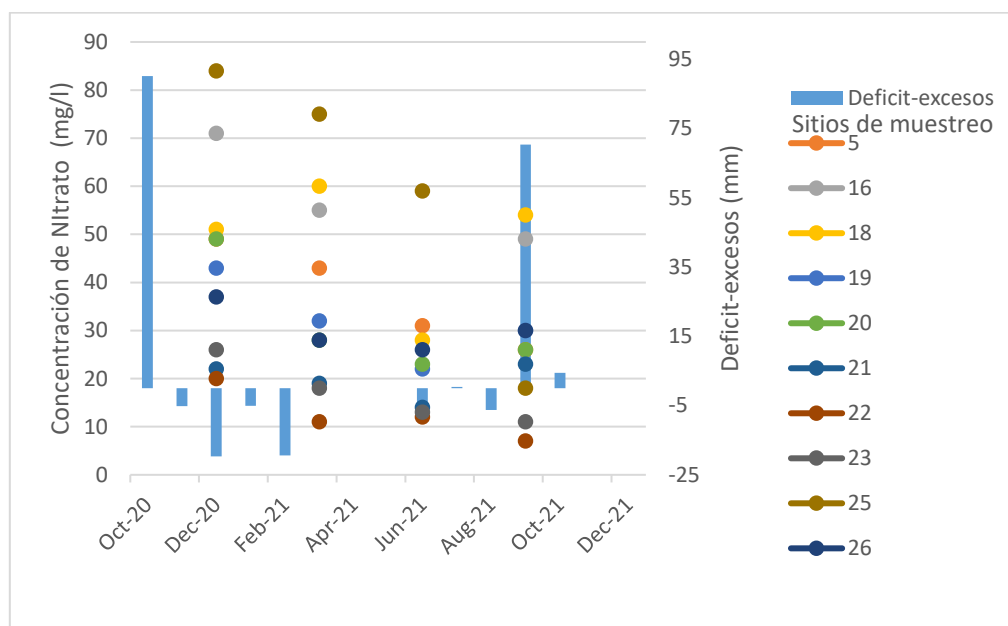
Figura 54. Evolución de la concentración de calcio en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú durante los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021).



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar (Figura 55), los valores de mayor concentración de nitratos corresponden al momento de mayor déficit hídrico del año (diciembre 2020) por lo que el descenso de los valores en los siguientes muestreos se correspondería con fenómenos de dilución.

Figura 55. Evolución de la concentración de nitrato en el agua subterránea de la cuenca del arroyo Chapaleofú durante los cuatro muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021).



Fuente: elaboración propia.

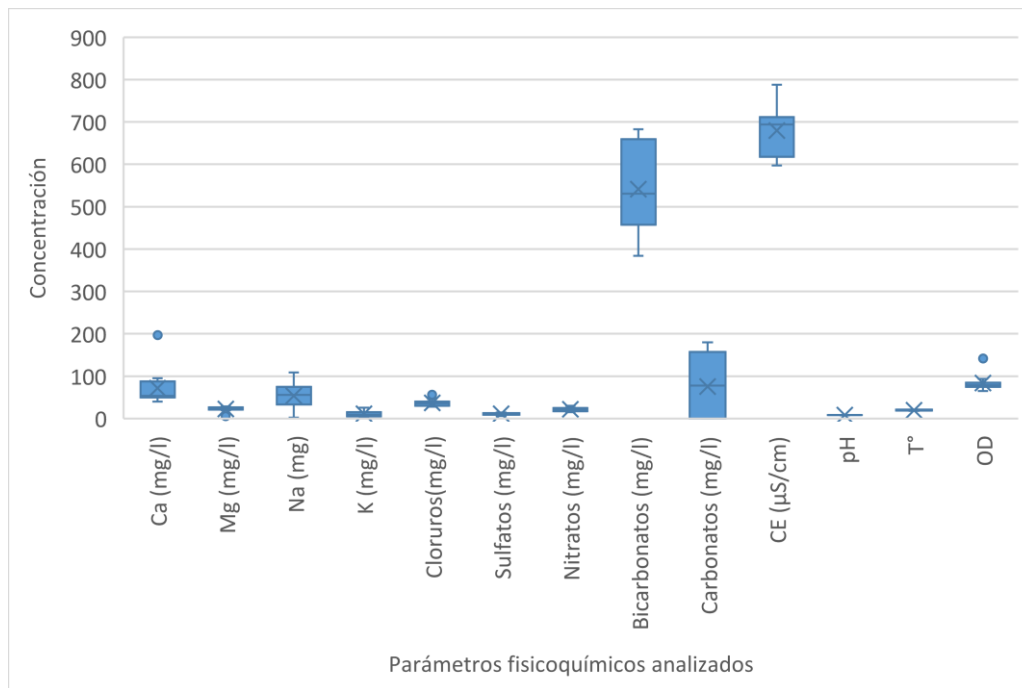
4.5. Caracterización del recurso hídrico superficial.

4.5.1. Química superficial

Para analizar la química del recurso superficial se utilizó el censo preliminar realizado en noviembre de 2019 ya que es el que cuenta con mayor número de sitios de muestreo.

Como se observa en la tabla 22 los valores de CE se encontraron entre 597 y 788 $\mu\text{S}/\text{cm}$, aumentando desde el sector de serranías hacia el sector de llanura, y su promedio fue de 680 (mediana: 695) $\mu\text{S}/\text{cm}$. El pH osciló entre 7,7 y 8,5 siendo básico en todos los casos y con un promedio de 8,1 (mediana: 8,2). El aumento también ocurrió en el sentido del flujo. La temperatura varió de 18 a 21°C. Los bicarbonatos variaron de 384 a 683 mg/l aumentando en el sentido del flujo y con un promedio de 541 mg/l (mediana: 531). En cuanto a los carbonatos no se encontraron en 5 de los 7 sitios de las serranías y en los 2 que se encontraron presentaron valores bajos (75 y 95 mg/l). La concentración de bicarbonatos aumentó en el sentido del flujo en los sectores geomorfológicos de piedemonte y llanura con valores entre 80 y 180 mg/l, con un promedio de 148 mg/l (mediana: 126 mg/l) en ambos sectores.

Tabla 21. BoxPlot para los datos fisicoquímicos (n=12) del muestro de agua superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)



Elaboración propia.

Fuente: elaboración propia.

El calcio disminuyó en el sentido del flujo. El magnesio presentó una leve tendencia a disminuir su concentración hacia la llanura. El sodio presentó los valores más bajos en el sector de serranías mientras que los más altos se encontraron en la llanura.

El potasio presentó sus mayores valores en la cabecera y los valores más bajos en la llanura. La dureza disminuyó en el sentido de flujo del agua.

No se logró identificar un patrón de distribución de cloruros a lo largo del arroyo.

No se encontró un patrón en la distribución espacial de los nitratos y sus valores más altos se hallaron en los sitios de muestreo 4 y 5, ubicados en el sector de serranías.

Los sulfatos no presentaron un patrón en su distribución.

Tabla 22. Matriz de correlación entre los parámetros fisicoquímicos superficiales en la ceunca del arroyo Chapaleofú (Censo Preliminar, noviembre 2022)

	Bicarbo natos	Cal cio	Carbo natos	Caudal	CE	Cloru ros	Dureza	Pota sio	Mag nesio	Sodio	Nitra tos	Oxigeno disuelto	pH	Sul fatos	Tem pera tura
Bicarbonatos	1,00	0,33	0,12	0,03*	0,12	0,52	0,00*	0,14	0,65	0,33	0,15	0,12	0,27	0,12	0,48
Calcio	-0,31	1,00	0,11	0,06	0,06	0,43	0,33	0,28	0,50	0,18	0,43	0,46	0,17	0,07	0,23
Carbonatos	0,47	-0,49	1,00	0,02*	0,50	0,31	0,12	0,02*	0,18	0,64	0,19	0,82	0,00*	0,31	0,88
Caudal	0,62*	-0,56	0,66*	1,00	0,14	0,32	0,03*	0,14	0,64	0,31	0,07	0,19	0,00*	0,03*	0,36
CE	0,47	-0,56	0,22	0,45	1,00	0,87	0,12	0,17	0,14	0,20	0,85	0,24	0,15	0,00*	0,53
Cloruros	-0,21	0,25	-0,32	-0,31	-0,05	1,00	0,52	0,30	0,15	0,07	0,81	0,00*	0,87	0,72	0,82
Dureza	0,91*	-0,31	0,47	0,62*	0,47	-0,21	1,00	0,14	0,65	0,33	0,15	0,12	0,27	0,12	0,48
Potasio	-0,45	0,34	-0,67*	-0,45	-0,43	-0,33	-0,45	1,00	0,01*	0,90	0,46	0,32	0,00*	0,12	1,00
Magnesio	0,15	-0,22	0,41	0,15	0,45	0,44	0,15	-0,73*	1,00	0,12	0,53	0,28	0,02*	0,09	0,67
Sodio	0,31	-0,41	0,15	0,32	0,40	-0,54	0,31	0,04	-0,47	1,00	0,26	0,14	0,92	0,48	0,45
Nitratos	-0,44	-0,25	-0,41	-0,54	0,06	0,08	-0,44	0,24	-0,20	0,35	1,00	0,54	0,10	0,51	0,72
Oxigeno disuelto	-0,47	0,24	-0,07	-0,40	-0,37	0,75*	-0,47	-0,31	0,34	-0,45	0,19	1,00	0,92	0,17	0,72
pH	0,35	-0,42	0,79*	0,76*	0,44	-0,05	0,35	-0,76*	0,64*	-0,03	-0,50	-0,03	1,00	0,02*	0,38
Sulfatos	0,47	-0,54	0,32	0,62*	0,92*	-0,11	0,47	-0,47	0,51	0,22	-0,21	-0,42	0,64*	1,00	0,17
Temperatura	0,23	0,38	0,05	-0,29	-0,20	-0,07	0,23	0,00	-0,14	0,24	0,12	0,11	-0,28	-0,43	1,00

*Correlaciones significativas (p-valor<0,05)

Fuente: Elaboración propia

Las correlaciones se clasificaron en inexistentes (entre 0 y 0,10), débiles (entre 0,10 y 0,29), moderadas (entre 0,30 y 0,50) y fuertes (entre 0,50 y 1,00). El calcio y el sodio presentaron una correlación negativa moderada (-0,41) y no significativa que explicaría el intercambio catiónico entre los dos iones. Vemos que el caudal tiene una correlación negativa fuerte con el calcio (-0,56), debido a que a medida que aumenta el caudal y el recorrido del agua superficial por la cuenca el calcio es reemplazado por el sodio. Por la misma razón el sodio presenta una correlación positiva moderada con el caudal (0,32). Los carbonatos presentan una correlación positiva fuerte con el pH (0,79), lo cual es lógico, debido a que los carbonatos son inestables a pH menores a 8,3.

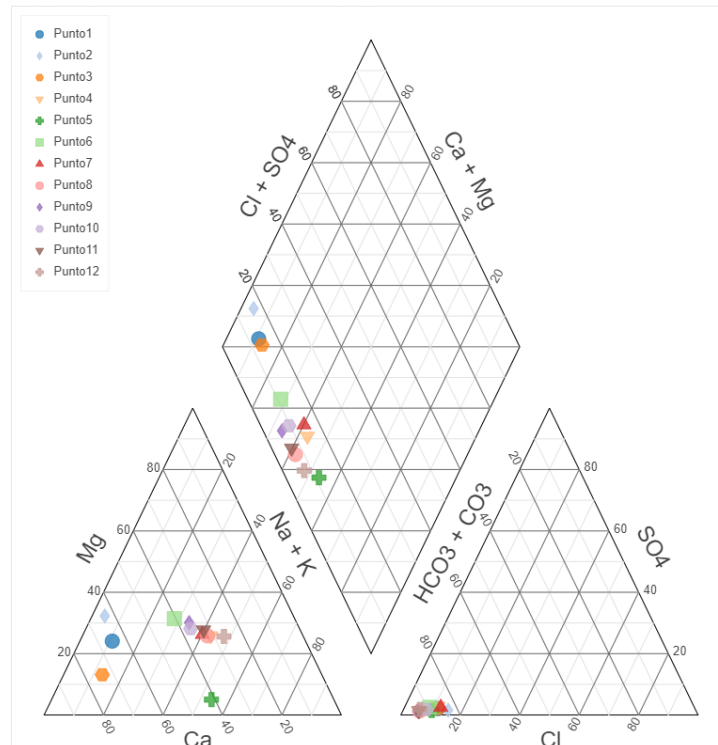
Los sulfatos presentan una correlación positiva fuerte con la CE (0,92) ya que ambas aumentan en el sentido del flujo.

En cuanto a la tipificación de las aguas todas las muestras (Figura 56), excepto la correspondiente al sitio 5, son bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas con tendencia a bicarbonatadas sódicas en la llanura (sitios 11 y 12).

4.5.2. Relación química entre el agua superficial y subterránea

Los tipos de agua superficial y subterránea son coincidentes en la composición de sus iones mayoritarios: se presenta en ambos casos una evolución de bicarbonatada calcica-magnésica a bicarbonatada sodica-potásica. También, en ambos casos, el intercambio catiónico de sodio por calcio es el responsable de la misma. Dicha evolución es más marcada en el agua subterránea que en el agua superficial.

Figura 56. Diagrama de Piper para el recurso hídrico superficial del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)

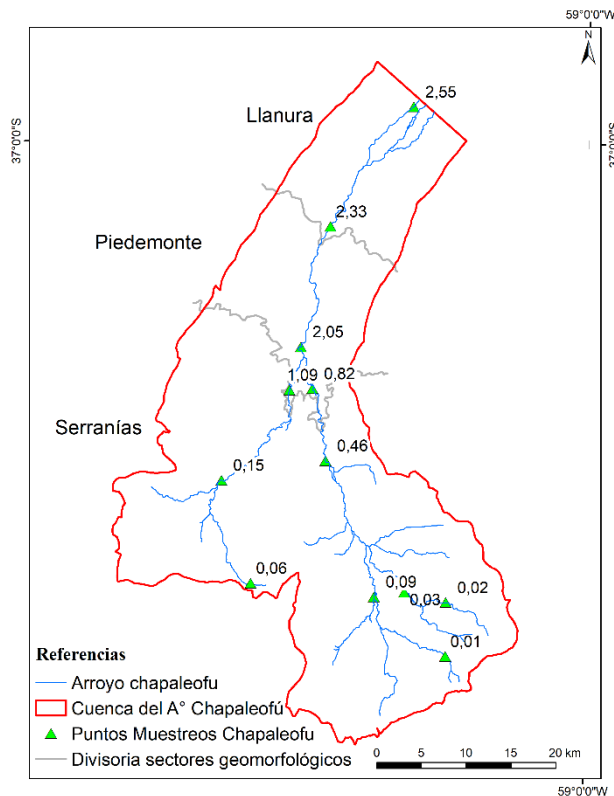


Fuente: elaboración propia.

En la Figura 57 se representan los caudales (m^3/seg) medidos el día 31 de octubre de 2019 en cada uno de los sitios de muestreo.

4.5.1. Dinámica superficial

Figura 57. Caudales (m^3/seg) determinados en los sitios de muestreo del recurso hídrico superficial del arroyo Chapaleofú (censo preliminar, noviembre de 2019)



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2).

4.5.3. Relación entre usos de suelo y concentración de nitratos.

En el sector de serranías cuatro sitios presentaron un uso de suelo preponderantemente ganadero y tres un uso agrícola; en el sector de piedemonte, los tres sitios presentaron un uso agrícola; y en el sector de llanura los dos sitios muestreados presentaron un uso ganadero. Se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) del ion nitrato para conocer si hay diferencias significativas en el comportamiento del mismo dentro de cada tipo de uso de suelo. La hipótesis nula es que las medias de nitratos dentro de cada tipo de uso de suelo son iguales, es decir que las diferencias que se observan son producto del azar. Si el p-valor se encuentra por encima de 0,05 no hay evidencia estadística para descartar la hipótesis nula. En el caso analizado el p-valor fue de 0,5871, por lo que no se encontró una relación estadísticamente significativa entre la concentración de nitratos y los diferentes usos de suelo relevados.

4.5.4. Red monitorea definitiva del recurso hídrico superficial

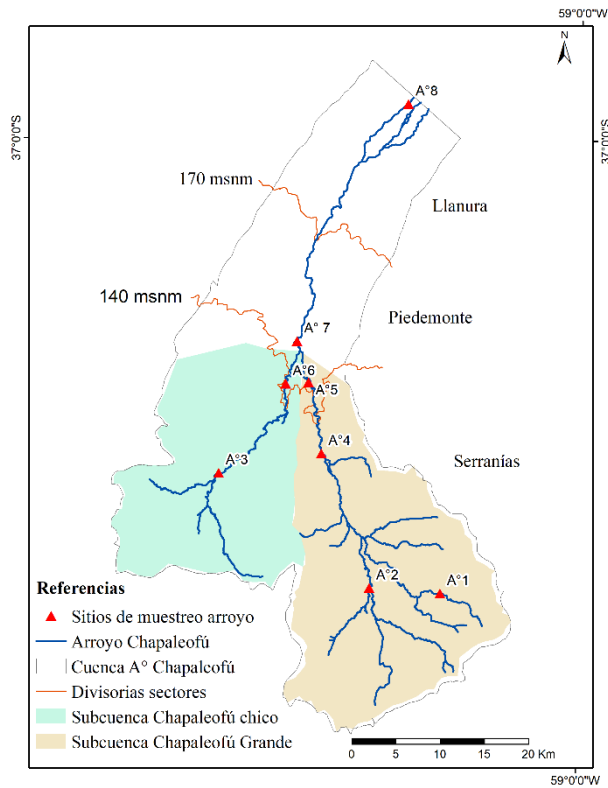
Para realizar los cuatro muestreos estacionales del recurso hídrico superficial se eliminaron cuatro sitios para tener una red monitorea mas efectiva en términos de costo y tiempos de muestreo. La red monitorea quedó constituida por ocho sitios que se renombraron como se detalla en la Tabla 23 y Figura 58, para facilitar su análisis.

Tabla 23. Sitios de muestreo del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú renombrados.

Sitios de muestreo	Nueva denominación
A1	A1
A2	Eliminado
A3	Eliminado
A4	A2
A5	Eliminado
A6	A3
A7	A4
A8	A5
A9	A6
A10	A7
A11	Eliminado
A12	A8

Fuente: elaboración propia.

Figura 58. Red monitorea definitiva del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú para los muestreo estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021).



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2).

4.5.5. Análisis de las variaciones estacionales de la dinámica del recurso hídrico superficial.

Las mediciones de caudal detalladas en la Tabla 24 demuestran que el caudal aumenta aguas abajo en los arroyos Chapaleofú Chico, Chapaleofú Grande y Chapaleofú propiamente dicho, debido a que los tres arroyos son en la mayor parte de su recorrido naturalmente efluentes, es decir que reciben aportes de las aguas subterráneas.

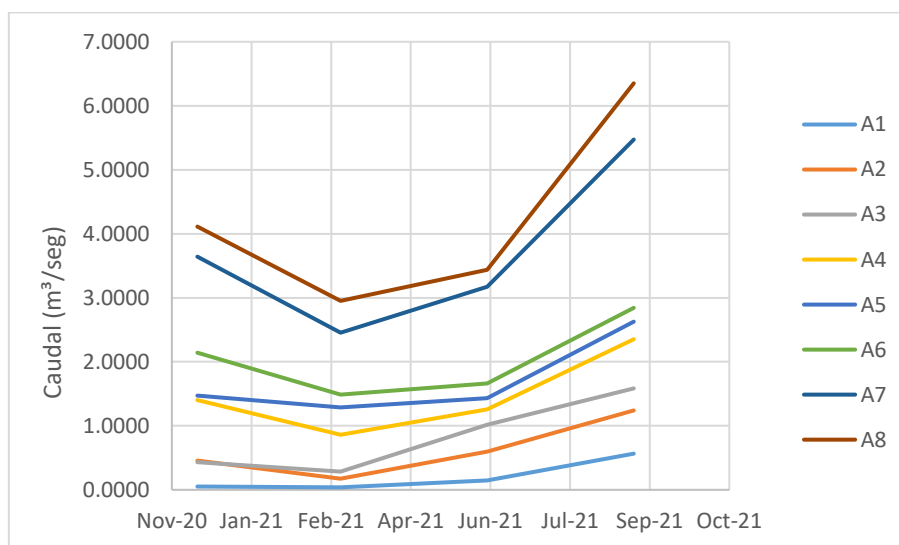
En los 8 sitios de muestreo el pico de caudal coincidió con el mes septiembre de 2021 que fue el de mayor exceso hídrico de la cuenca durante el año analizado (ver Figura 40).

Tabla 24. Variaciones estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de caudales (m³/seg) en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.

Sitio/fecha	Caudal (m ³ /seg)			
	dic-20	mar-21	jun-21	sep-21
A1	0,0521	0,039	0,1478	0,5655
A2	0,456	0,174	0,5955	1,2406
A3	0,4334	0,2846	1,0179	1,5847
A4	1,4013	0,8604	1,2552	2,3524
A5	1,4731	1,2877	1,4316	2,6274
A6	2,1418	1,4875	1,6647	2,8433
A7	3,6421	2,4549	3,1728	5,4725
A8	4,1112	2,9524	3,4392	6,3512

Fuente: elaboración propia.

Figura 59. Variaciones estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de caudal por cada sitio de muestreo del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú..



Fuente: elaboración propia.

4.5.6. Análisis de las variaciones estacionales de la química del recurso hídrico superficial

La evolución de las concentraciones de nitrato (Figura 64), cloruros (Figura 61), conductividad eléctrica (Figura 60), magnesio (Figura 66) y potasio (Figura 68)

presentaron una marcada disminución a lo largo de los muestreos, coincidiendo las menores concentraciones con los mayores valores de caudal, debido a fenómenos de dilución. En tanto, en la evolución de la concentración de bicarbonatos (Figura 62) no se encontró un patrón. La evolución de las concentraciones de sulfatos (Figura 63), calcio (Figura 65) y sodio (Figura 67) presentaron un aumento a medida que avanzaron las campañas de muestreo, al cual no se le encontró explicación pero se sospecha que pudo haber habido un error en las determinaciones del laboratorio.

La temperatura del agua superficial registrada (Tabla 25) varió de acuerdo a lo esperado para los meses analizados. Los valores más bajos corresponden a las estaciones de otoño e invierno y los más altos a las estaciones de primavera y verano.

Tabla 25. Evolución de la temperatura (°C) en las diferentes campañas de muestreo (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.

Sitio/Fecha	Temperatura (°C)			
	dic-20	mar-21	jun-21	sep-21
A1	15,2	18,4	10	12,3
A2	17,2	18,5	10,9	13,6
A3	20,3	18	7,4	15,2
A4	19,4	18,9	13,6	16,8
A5	18,8	19,9	12,8	14,5
A6	17,5	19,3	12,3	14,2
A7	18,2	18,2	12,4	14,3
A8	19,8	17,4	12,8	18

Fuente: elaboración propia.

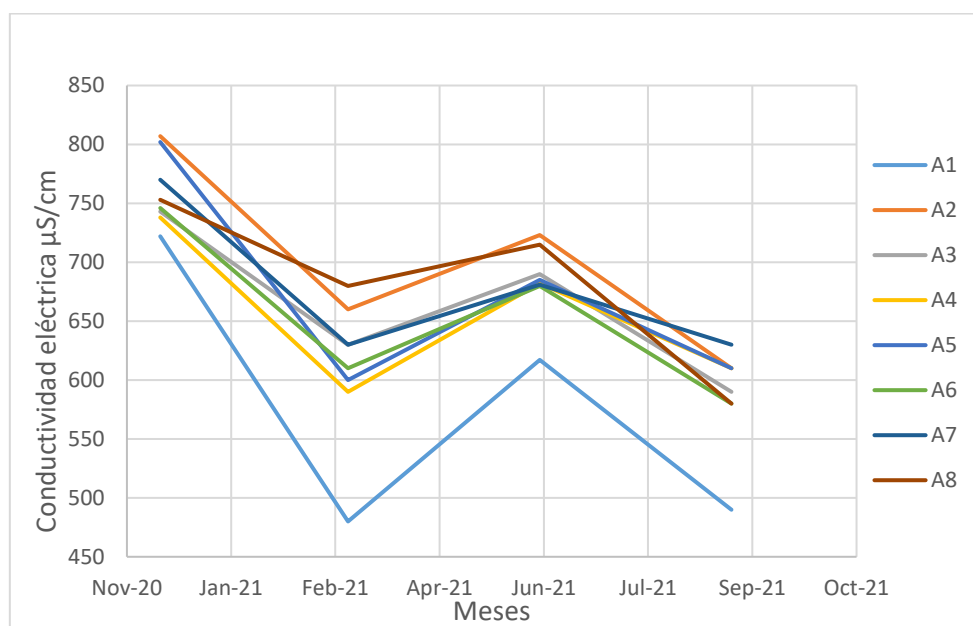
La Tabla 26 presenta las mediciones de pH para cada sitio y fecha de muestreo. El pH a lo largo del monitoreo se mantuvo cercano a la neutralidad o levemente alcalino. El comportamiento fue similar en todos los sitios de muestreo. En julio de 2021 se registraron los valores menores. No se observan desviaciones importantes en ninguno de los sitios de muestreo en los cuatro muestreo estacionales. La presencia de carbonatos que ocurre únicamente en pHs mayores a 8,3 solo se detectó en tres oportunidades, dos de ellas tuvieron lugar en los sitios más distantes de la serranía (A7 y A8) y la restante en el arroyo Chapaleofú Chico (A4) previo a la confluencia con el arroyo Chapaleofú Grande.

Tabla 26. Evolución del pH durante las campañas de muestreo (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.

Sitio de muestreo	dic-20	mar-21	jul-21	sep-21	Promedio
A1	8,02	8,00	7,87	7,60	7,87
A2	7,90	8,25	7,95	7,30	7,85
A3	8,06	8,03	7,78	7,30	7,79
A4	8,30	8,01	8,22	7,60	8,03
A5	8,04	7,64	8,1	7,60	7,85
A6	8,12	8,00	8,19	7,60	7,98
A7	8,35	7,41	8,08	7,70	7,89
A8	8,29	8,42	7,95	7,80	8,12
Promedio	8,14	7,97	8,02	7,56	7,92
Desvío estandar	0,16	0,32	0,16	0,18	0,11

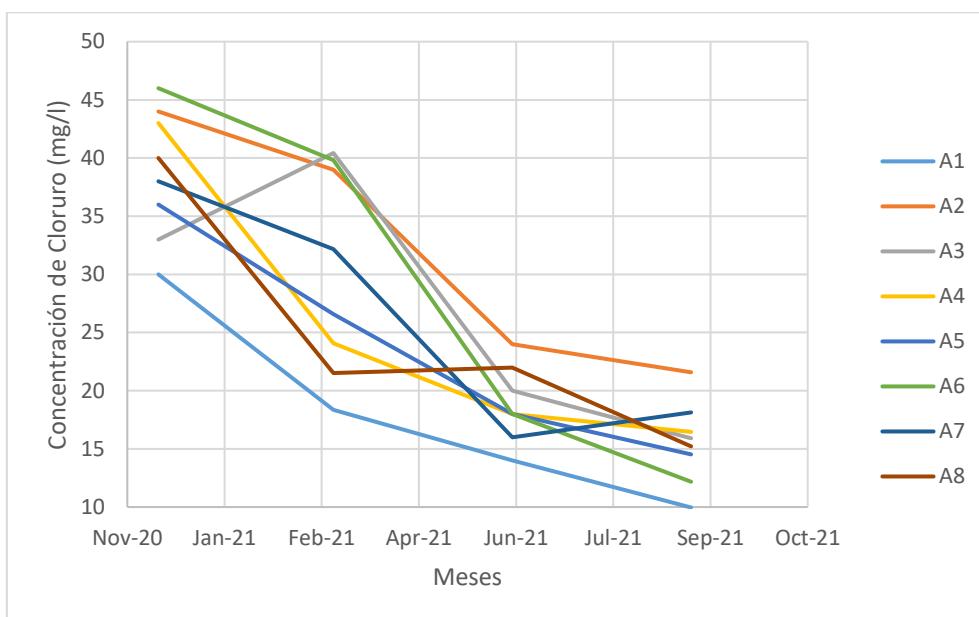
Fuente: elaboración propia.

Figura 60. Evolución estacional estacionales (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la conductividad eléctrica del recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



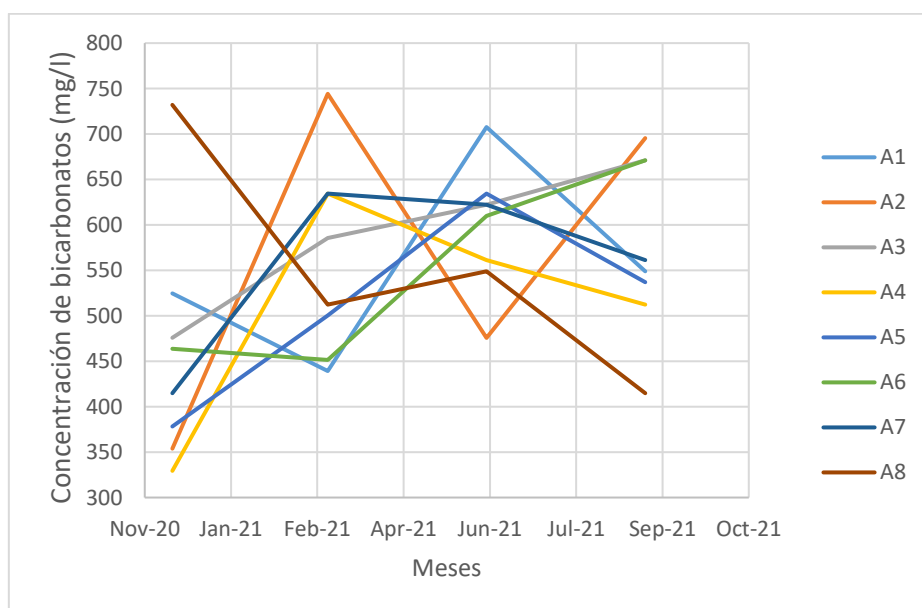
Fuente: elaboración propia.

Figura 61. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de cloruro en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



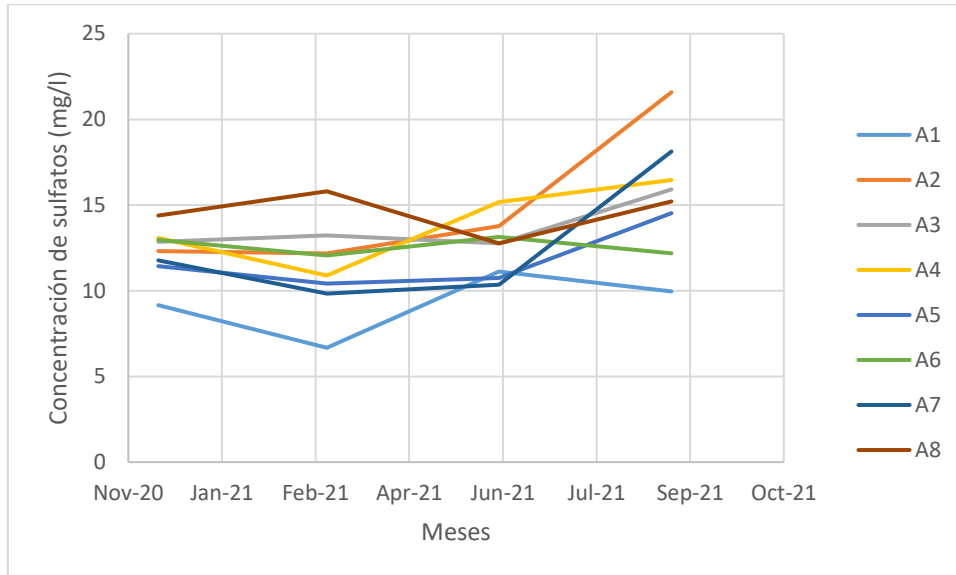
Fuente: elaboración propia.

Figura 62. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de bicarbonatos en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



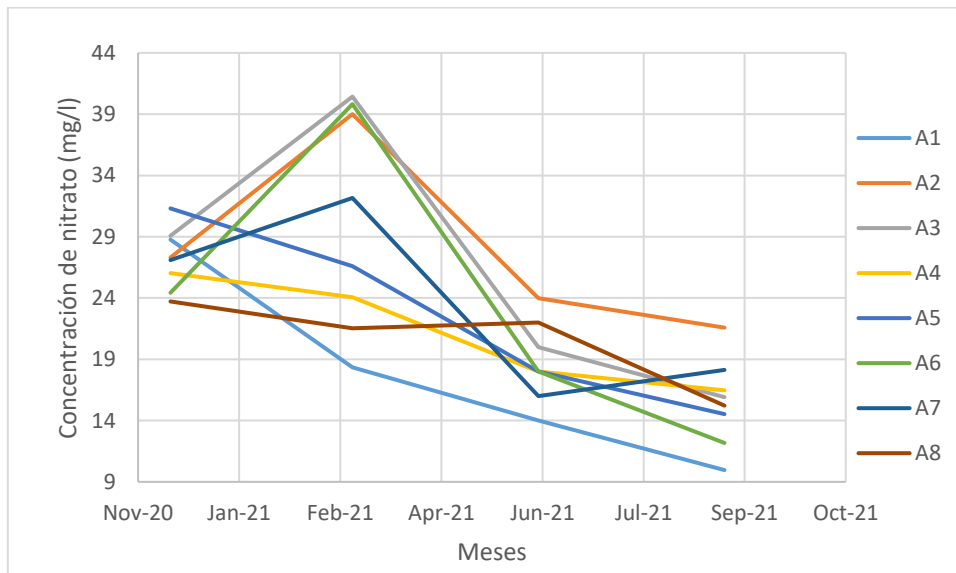
Fuente: elaboración propia.

Figura 63. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de sulfatos en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú



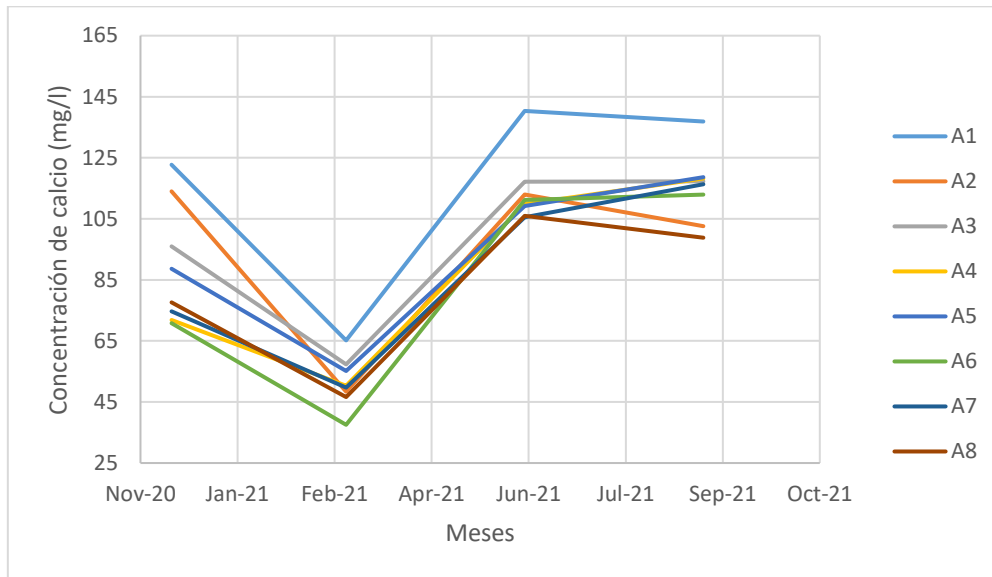
Fuente: elaboración propia.

Figura 64. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de nitrato en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



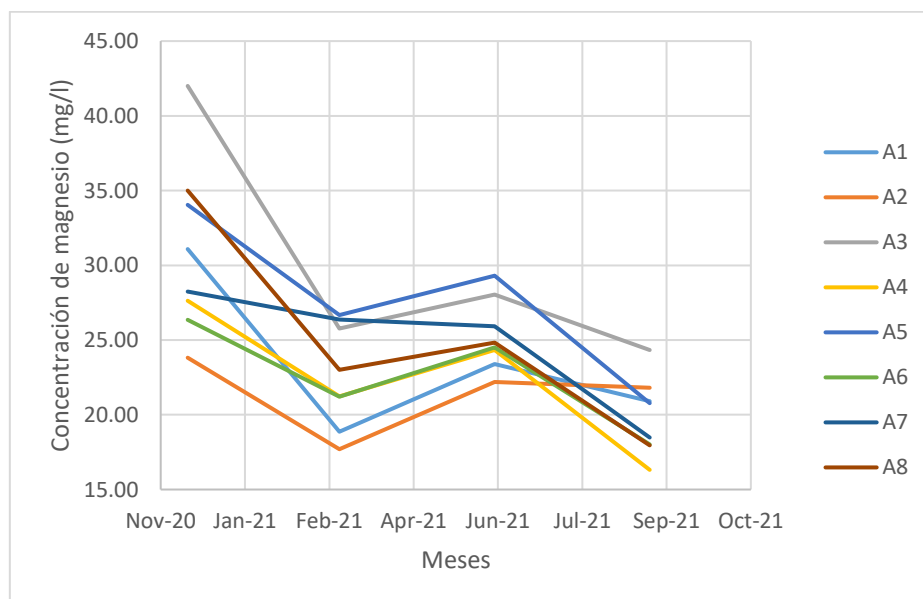
Fuente: elaboración propia.

Figura 65. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de calcio en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



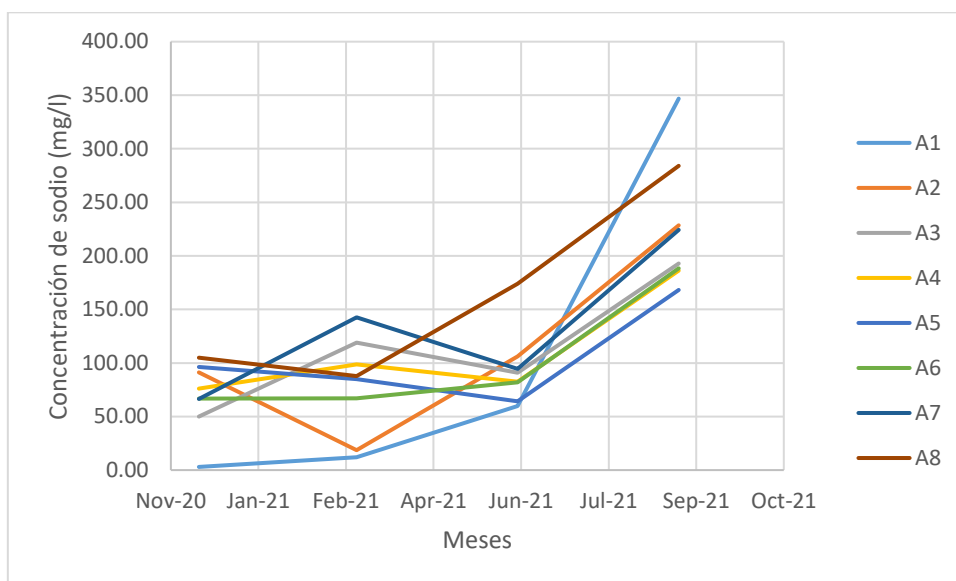
Fuente: elaboración propia.

Figura 66. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de magnesio en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



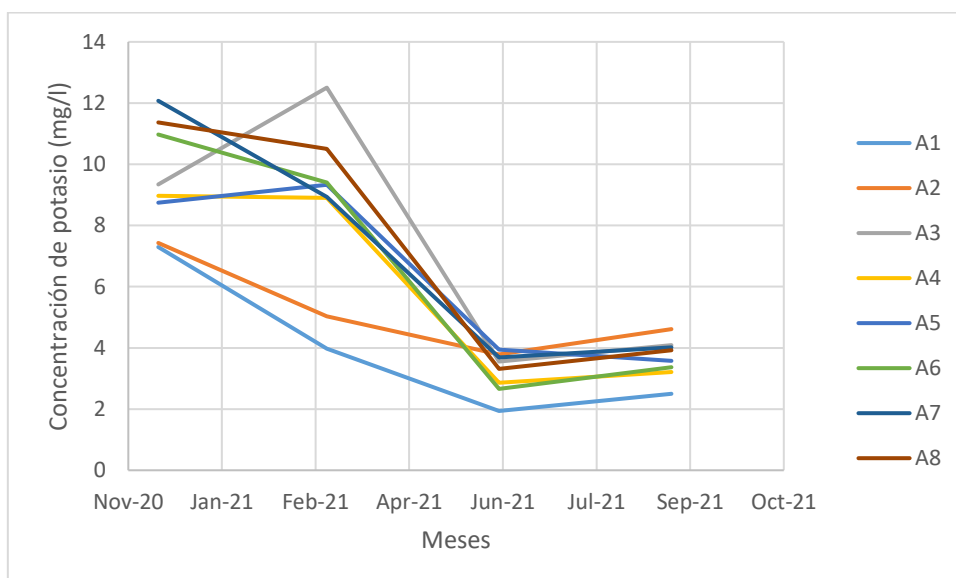
Fuente: elaboración propia.

Figura 67. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de sodio en el recurso superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



Fuente: elaboración propia.

Figura 68. Evolución estacional (primavera 2020, verano 2021, otoño 2021 e invierno 2021) de la concentración de potasio en el recurso hídrico superficial de la cuenca del arroyo Chapaleofú.



Fuente: elaboración propia.

4.5.6. Análisis de las entrevistas vinculadas al recurso hídrico superficial

En las entrevistas realizadas se consultó a los productores rurales acerca del arroyo Chapaleofú y sus afluentes.

Con respecto a si conocían la existencia de un arroyo en la zona, una productora respondió: “sí, contaminadísimo” y el resto respondió que “sí”.

Al ser consultados por el nombre del arroyo el único que respondió no saberlo fue un productor de la zona de serranías ubicado en un sector donde el arroyo todavía tiene un caudal muy escaso.

En la zona de serranías los entrevistados identificaron afluentes del arroyo Chapaleofú como “La Merced” y “Chapaleofú Chico”.

En la zona de piedemonte y llanura donde el arroyo tiene un caudal más importante todos los entrevistados respondieron “Chapaleofú”.

Un productor ubicado por fuera de los límites de la cuenca respondió “Los Huesos”, que es el arroyo más cercano que tiene.

Los entrevistados identificaron con mayor facilidad aquellos afluentes que tienen carteles indicativos y los de mayor caudal.

Con respecto a los usos que realizan en el arroyo la mayoría de los entrevistados dijo hacer un uso recreativo del mismo (pescar, comer asado, caminar, pasar el día).

Ante la pregunta de si ven gente bañándose en el arroyo una productora de la zona de llanura dijo: “sí porque es un arroyo de tosca, entonces no te hundís pero yo no me baño porque está contaminadísimo”.

Por otro lado un productor de la zona de serranías dijo:

-“Es peligroso porque podes quedar atrapado por el barro”.

En estas dos frases se observa la diversidad de lechos del cauce que se encuentran a lo largo de la cuenca, en algunas zonas es muy fangoso y en otras hay carbonato de calcio.

Otros productores respondieron lo siguiente:

-“Es muy traicionero por los pozos y porque han tirado todo tipo de porquerías”.

-“Se han ahogado muchas personas”.

- “Yo no me meto...saben haber animales muertos, bidones de herbicidas pero hay gente que sí”.

-“si, en el balneario de Vela está lleno de gente”.

Un entrevistado se centró en diferentes usos adversos que se observan en el arroyo:

- “tiran basura, sacan agua para regar papa, tiran los camiones de los pozos ciegos, los del municipio mismo, le dan de tomar agua a las vacas, hacen leña, lavan los mosquitos, lo que quieras”.

El arroyo fue caracterizado como peligroso, contaminado, con presencia de animales muertos, bidones de herbicida y con basura pero de todas formas es utilizado para bañarse, principalmente en la zona del balneario de María Ignacia -Estación Vela- y en aquellas zonas que cuentan con lecho de carbonato de calcio.

Además de los usos recreativos del arroyo se identificaron de manera negativa las siguientes actividades sobre el arroyo: disposición de basura, uso de agua para riego de papa, vaciado de camiones atmosféricos, extracción de leña de los montes adyacentes, y lavado de mosquitos de fumigación.

En cuanto a si concurren al balneario de María Ignacia -Estación Vela- respondieron lo siguiente:

-“Si, he ido, pero no es habitual”.

- “Si, pero es más visitado por gente de Tandil, el 90% es de afuera”.

- “ni loca me meto el agua es de marrón a negro”.

Los productores indicaron que el balneario es mayormente visitado por gente de Tandil y que el agua visualmente no es agradable, pero es conocido por todo los entrevistados.

Los productores fueron consultados sobre la continuidad del arroyo hacia Rauch ya que en esa ciudad hay un balneario. La mitad de los entrevistados de la zona de serranías desconocían que el arroyo sigue hacia Rauch y más aún que hay un balneario. Y otros cuatro productores (dos de serranías, uno de piedemonte y otro de llanura) saben que el arroyo sigue hacia Rauch y que en él hay un balneario.

Se pudo observar que a medida que los productores se ubican en la zona de piedemonte y llanura tienen mayor conocimiento sobre las actividades que se realizan en el arroyo aguas abajo.

Al ser consultados sobre si conocen que alguien haya hecho análisis en el arroyo todos respondieron que no, y un productor de la zona de serranías dijo saber de análisis hechos

hace “28 o 30 años en el arroyo Langueyú porque iba algo rojo al agua” pero que no se acordaba los resultados.

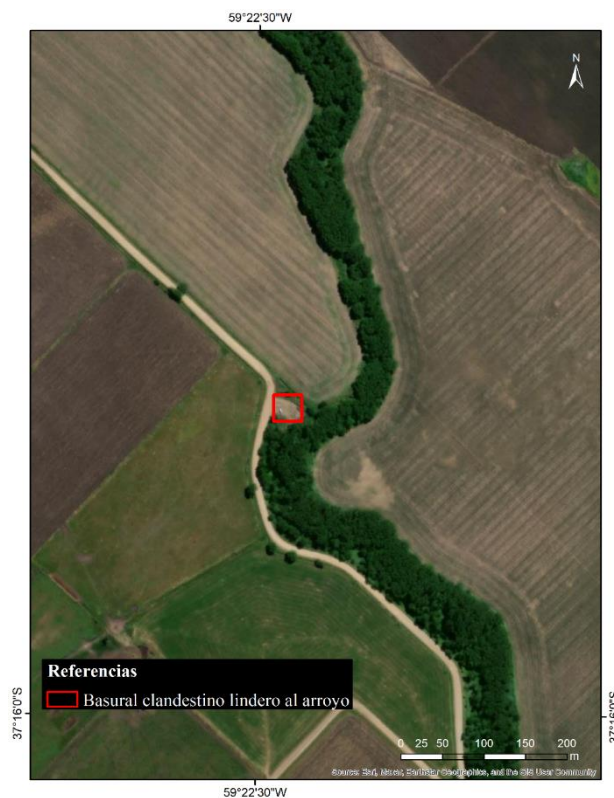
Ante la pregunta de si alguna vez recibieron información acerca del arroyo de algún organismo institución o persona sobre el arroyo, cualquiera sea la causa, todos dijeron que no.

Con respecto a si hay basurales en zonas cercanas a arroyos, en la zona de llanuras dos productores respondieron:

-“No, porque casi no hay gente”.

En la zona de serranías se detectó por observación directa un basural en la zona lindera al arroyo Chapaleofú Chico que cuenta con cartelera que indica que no debe arrojarse basura. Además se observaron rastros de maquinaria que retira la basura. El mismo se encuentra en la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico (coordenadas 37°15'48" S, 59°22'28" W) y se encuentra representado en la Figura 69.

Figura 69. Basural lindero al arroyo.



Fuente: elaboración propia (ArcMap 10.2).

Respecto al conocimiento sobre ordenanza para aplicación de agroquímicos en zonas cercanas a arroyos y afluentes. Ante la pregunta de si están al tanto de la ordenanza que prohíbe fumigar a menos de 50 metros del arroyo se obtuvieron las siguientes respuestas:

- “Eso no se respeta, nadie controla eso y si alguno lavó el equipo tampoco”.
- “La gente ya está concientizada sobre eso”.
- “Lo que andas en el tema sabés lo que se puede hacer. Que después lo hagan o no es otra cosa. Como nadie controla tampoco”.
- “Si, ¿lo respetan? ¿Cómo lo controlas? tenés un arroyo como Los Huesos metido adentro, ¿quién sabe?”.
- “Ordenanzas hay para todo que se apliquen o no es otra cosa”.
- “Si, pero acá en los campos, ¿quién va a controlar?”.

Los productores demostraron estar en conocimiento de la ordenanza que prohíbe realizar fumigaciones a distancias menores a 50 metros de los arroyos y 20 metros de sus afluentes, marcaron la falta de control estatal y la dificultad para realizar el mismo como el principal factor por el cual hay casos en que la ordenanza no se cumple.

4.6. Caracterización de los aspectos del medio socioeconómico con mayor impacto en los recursos hídricos

4.6.1. Análisis de las entrevistas

Perforaciones y uso del recurso subterráneo

En la mayoría de los sitios entrevistados se repitió la siguiente lógica de perforaciones: una bomba sumergible o superficial para el abastecimiento de agua subterránea para consumo humano y molinos distribuidos en los diferentes potreros para los animales.

En un solo caso la vivienda se abastece de agua de molino para consumo humano.

Con respecto a cómo se decidió la ubicación de los pozos, los productores de la zona de serranías respondieron lo siguiente:

- “Vino el rabadomante¹. Fue mágico. Puso el pie, plantaron el camión y de ahí salió el agua”.

¹ Son personas a las que se les atribuye el poder de percibir las radiaciones electromagnéticas; se utilizan para descubrir manantiales y yacimientos subterráneos (RAE, 2022).

- “El rabadomante marcó un perímetro de donde sacar agua y dentro de ese perímetro lo hicimos lo más lejos posible de la casa para que no se junte con el pozo del baño”.

- “Trajimos a uno de esos que busca el agua. Tres lugares marcó pero mi viejo lo quiso hacer más allá porque quedaba más cómodo para el enchufe. Y había agua.”

Por su parte los sitios ubicados en piedemonte y llanura coinciden en gran medida con la siguiente frase:

-“Se eligió el lugar de acuerdo a los potreros. Para que quedaran bien ubicados. Acá no hay problema con el agua”.

Hubo dos situaciones muy marcadas. Por un lado, los sitios ubicados en la zona de serranías presentaron dificultades para encontrar agua por los afloramientos rocosos y por las posibilidades de perforar y encontrarse con roca. Debido a esto recurrieron a los servicios de un rabadomante. Los rabadomantes son traídos por la misma empresa que realiza la perforación. Por otro lado, en los sectores de piedemonte y llanura, donde no hay afloramientos rocosos no se utilizó el servicio del rabadomante.

En todos los casos los productores dijeron que la ubicación del pozo de agua les queda cómoda para sus actividades.

Todos los productores coincidieron en que las perforaciones brindan el agua necesaria para las tareas que necesitan desarrollar; excepto en algunos casos en que no hay viento y los molinos no pueden extraer agua o extraen menos caudal. Los problemas identificados tuvieron que ver con cuestiones técnicas en los medios para extraer agua (molinos y bombas), con la dificultad de encontrar personas que arreglen molinos, con contaminación del recurso hídrico subterráneo y con desabastecimiento de agua por falta de viento.

Con respecto a la información y conocimiento sobre las características de la perforación una productora dijo que tendría que solicitárselo a la empresa constructora. En otros casos tampoco tenían planos pero sabían quién había realizado la construcción. En algunos otros casos no tenían planos y tampoco recordaban quien había construido el pozo. En los casos en que los productores recordaban la profundidad de la perforación se encontró que correspondían a perforaciones someras, que toman agua de hasta tres metros por debajo del nivel freático.

En ninguno de los casos se pudo acceder a un plano de la perforación.

Al ser consultados sobre si la perforación está encamisada, en todos los casos respondieron que sí y agregaron algunos detalles:

- “Ha ido el molinero y te cobra fortunas para reemplazar el encamisado”.
- “El encamisado lo hice yo, porque es agua que se usa para tomar”.

En todos los casos mostraron tener conocimiento de la presencia o no de encamisado.

En cuanto a la pregunta de si sabían para que sirve que la perforación esté encamisada la mayoría de los entrevistados respondió de la siguiente manera:

- “Para evitar desmoronamientos”.
- “Para que no se metan animales adentro”.
- “Para evitar contaminación”.
- “Ni idea”.

En síntesis, la mayoría de los entrevistados reconocieron los beneficios de tener la perforación encamisada.

En cuanto al conocimiento sobre las profundidades de las perforaciones hubo dos situaciones. En los casos en que las perforaciones eran relativamente recientes los productores tenían una idea aproximada de la profundidad de la perforación; estos casos representaron la mayoría de los sitios entrevistados. Por otro lado, en los sitios en que las perforaciones son más antiguas no se tiene noción de esta información.

En cuanto a la cantidad de agua utilizada, en ninguno de los campos se lleva registro del consumo de agua. Un productor contó que “durante las olas de calor se consume más agua”. En un sitio se detectó un molino abierto durante todo el día, incluso una vez que el tanque de abastecimiento se llenaba y rebalsaba.

Ante la pregunta de dónde almacenan agua, todas las casas cuentan con un tanque (que destacaron en varios casos que se encuentra “bien tapado”), ubicado en el techo, y tanques Australianos desde donde se distribuye la bebida para los animales.

Ante la pregunta de si habían desinfectado el pozo, la mayoría de los entrevistados dijeron que no porque “sale pura” o porque “nunca tuvieron problemas”. En un solo caso un productor, que no consume agua del pozo, porque los análisis microbiológicos hechos de forma privada y el análisis fisicoquímico realizado en este trabajo dieron malos resultados, se mostró interesado en realizar la desinfección del pozo; se le brindó

información para que pueda realizarlo él mismo. Los productores desconocían la posibilidad de desinfectar el pozo por problemas microbiológicos.

Ante la pregunta de si desinfectan el tanque de agua para consumo humano todos dijeron que sí. La frecuencia varió desde “seis meses”, “casi todos los años” a “cada algunos años”. En cuanto a los métodos de desinfección se destacaron las siguientes frases:

- “Me meto adentro lo limpio y después le hecho cloro”.
- “Lavandina, cloro, algo de eso”.
- “Prendemos la bomba y cuando rebalsa por arriba sale la mugre”.
- “Cada tres meses cambiamos el filtro de agua de ingreso al tanque, del molino sale sucia”.
- “Se le hecha un poco de cloro”.

Los métodos de limpieza de los tanques de agua para consumo se basaron en el uso de cloro, lavandina, cambio de filtro de agua al tanque y dejar rebalsar el tanque para que salga la suciedad por arriba.

Ante la pregunta de si extraen o extrajeron agua de la perforación con suciedad se obtuvieron las siguientes respuestas:

- El agua cuando venía del campo de al lado salía turbia y tenía Escherichia.
- Después de una lluvia de 100 mm el agua salió turbia, hasta el día siguiente que ya salía limpia.
- Cuando yo vine no me gustaba como salía, por eso la encamisé y ahí empezó a salir limpia.
- Los primero días, cuando hicieron la perforación, después ya no.
- Cuando tenía el tanque de fibrocemento entraba algo de mugre pero ahora lo cambié por uno de plástico y se solucionó el problema.

Se observó que al hacerse visibles problemas en la calidad del agua (por inconvenientes puntuales como inundaciones o tanque de agua sin protección), se toman medidas (cambio de tanque, encamisado) que “limpian” el agua en el corto y mediano plazo.

En la mayoría de los sitios entrevistados se utiliza el agua subterránea para consumo humano, incluso en varios sitios donde la concentración de nitratos excede el límite máximo recomendado por el CAA. De todas formas, en estos sitios nunca tuvieron

problemas de salud que puedan vincular con el consumo de agua de pozo y toman la precaución en situación de embarazo de consumir agua envasada. Al no haber tenido problemas de salud vinculados al consumo de agua, no han realizado análisis microbiológico del recurso. En un único sitio el entrevistado dijo no consumir agua de pozo porque los análisis microbiológicos que realiza desde que se instaló en el campo (2016) dieron resultados negativos. De todas formas, dijo que a veces consumen agua de la perforación “los maquinistas,” pero “nunca tuvieron un problema”.

En resumen podemos decir que la población entrevistada confía en la calidad del agua para consumo humano por no haber tenido problemas de salud, incluso en aquellos lugares donde desde el punto de vista fisicoquímico el agua no es potable por concentraciones de nitratos que exceden lo establecido en el CAA. Sí se identificó que los entrevistados toman recaudos a la hora del consumo de agua en mujeres embarazadas y también en el único caso en el cual realizaron un análisis microbiológico y excedió lo permitido en el CAA.

El único problema de salud detectado durante las entrevistas con respecto al recurso hídrico subterráneo fue el siguiente:

-Mi hijo tomó agua de red en Vela y le agarró Giardias, tiene que hacer un tratamiento cada seis meses. Cada vez que vamos a Vela llevamos agua del campo.

Otro productor, ex trabajador de la cooperativa de agua de María Ignacia -Estación Vela-, dijo que el agua que brinda la cooperativa es de excelente calidad, que se le hacen análisis cada quince días y que el único problema es que a veces está muy clorada. Dicho entrevistado comentó:

-Cada vez que voy al campo llevo agua de red de Vela.

Se observaron prácticas opuestas entre quienes tenían información sobre la calidad de agua de la cooperativa de María Ignacia -Estación Vela- y entre quienes no la tenía.

Ante la pregunta de si consumen o han tenido que consumir agua envasada o de red en lugar de agua de la perforación, en tres casos dijeron que sí. Uno correspondió a una mujer embarazada, otro a niños hasta los dos años de edad y el tercero a la escuela entrevistada que “requieren bidones para prevenir cosas que no están medidas en los análisis”, como agroquímicos, pero en la mayoría de los casos los bidones no son entregados por el consejo escolar porque el agua de la escuela es apta para consumo humano desde los

puntos de vista microbiológico y fisicoquímico básico. En muchos casos los productores llevan agua del campo cuando van a la ciudad porque la prefieren por el gusto.

Se evidencia que la población consume agua envasada lo hace para proteger a grupos vulnerables como embarazadas y niños pequeños.

En cuanto a si almacenan y utilizan agua de lluvia en la mayoría de los casos dijeron que no. Un solo productor contó que utilizaba “un tarro para las plantas” o utilizaba el agua que se juntaba “para la batería de los autos”.

En cuanto a la consulta de si llevan un registro de las lluvias todos los productores respondieron que sí, mostraron el calendario de lluvia del año actual (Figura 70) y en algunos lugares de años anteriores, para brindar información para esta tesis. En uno de los sitios el productor carga todos los días los datos de lluvias y heladas en una aplicación para la empresa a la que corresponde el campo.

Figura 70. Calendario de lluvias, sitio de muestreo 3.

DEA. MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL MENSUAL	
ENERO		10	8						70	9			16																			142	
FEBRERO																										20			2			142	
MARZO				18																	25		10	5	4							44	
ABRIL				7												65	8	2						15								108	
MAYO										12				8													7				34		
JUNIO										28																						64	
JULIO												28	32																			110	
AGOSTO																																	
SEPTIEMBRE							2		1	4																				8		8	
OCTUBRE														15																10		34	
NOVIEMBRE																																	
DICIEMBRE																																	

Fuente: fotografía del autor.

Se consultó a los entrevistados si realizan análisis de agua. La directora de la escuela respondió que realizan análisis microbiológicos semestralmente con resultados “óptimos”. En otro de los sitios entrevistados, que corresponde a un Haras militar,

también realizan análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua de consumo humano y han obtenido resultados dentro de lo permitido por el CAA. Un campo de la zona de llanura realizó análisis microbiológico del agua del molino que es la que consumen en la casa y “está bien”. Otro productor comentó que “hace como tres años vino un ingeniero y hizo análisis de todos los molinos. En algún lugar los debo tener guardados” pero no sabe qué tipo de análisis hicieron y qué resultados obtuvieron. En otro campo que corresponde a un ex funcionario de la cooperativa de agua de María Ignacia -Estación Vela- realizaron análisis microbiológico desde 2016 y “siempre dieron mal”. El productor sospecha que el origen de la contaminación en el agua se debe a la concentración de ganado aguas arriba de la perforación en un tiempo pasado. Y dijo: “se habrán contaminado las napas, por el orín y todo eso”. En este campo, en el cual los análisis microbiológicos presentaron contaminación, la concentración de nitratos excedió el límite máximo establecido por el CAA en el muestreo de primavera 2020, con una concentración de 67 mg/l, y obtuvo concentraciones dentro de lo permitido en el CAA en los muestreos del de verano de 2021 (43 mg/l) y de otoño (40 mg/l) e invierno (29 mg/l) del mismo año.

Los únicos dos sitios que realizan análisis de agua periódicos (microbiológicos) son aquellos que corresponden a entes estatales y tienen una gran concurrencia de personas. La mayoría de los sitios entrevistados solo tienen los análisis fisicoquímicos realizados en el presente estudio.

Aguas domésticas residuales

Ante la pregunta de dónde va el agua del inodoro todos respondieron tener pozos ciegos en las inmediaciones de la casa. En algunos casos tienen un pozo ciego para el baño, y otro para la cocina y el lavarropas.

Ante la pregunta de si los pozos ciegos tienen un tratamiento previo en cámara séptica en la mayoría de los casos la respuesta fue positiva, excepto en un sitio donde el pozo es muy viejo y el encargado del campo no estaba informado al respecto. En la escuela, el pozo ciego que se usa en la actualidad tiene cámara séptica pero no pueden confirmar que los que ya están en desuso también la tengan.

Ante la pregunta de quién construyó la cámara séptica, el único que recordaba al plomero que la realizó fue uno que la hizo en 2014. En el resto de los casos, las cámaras eran muy antiguas y no recordaban quien las había construido.

En cuanto a la frecuencia de desagote del pozo ciego o cámara séptica la escuela lo desagota cada tres meses “porque tenemos muchos problemas de baños perdiendo y pasa mucha agua limpia. En cualquier momento este pocito...hay que pensar en otra solución”. Un productor recuerda haberlo desagotado una sola vez. Otro productor dijo que nunca vinieron a desagotarlo porque tiene muy poco uso.

Otro productor contó que debían desagotarlo mensualmente hasta que agrandaron el pozo y ahí no tuvieron que desagotarlo más.

En el Haras Militar no han tenido que desagotar los pozos de las casas pero tienen que desagotar el pozo del edificio donde duermen los soldados.

Un productor que tiene una cámara séptica de hace alrededor de 60 años dijo que a diferencia de las cámaras nuevas, él nunca tuvo que desagotarla.

En resumen se puede ver como en las viviendas familiares los desagotes se dan con una frecuencia muy baja mientras que en los sitios a los que asiste mucha gente los desagotes se dan varias veces al año. Se detectaron desperfectos (perdida de agua de canillas o inodoros) que desperdician agua en buen estado y colmatan rápidamente los pozos ciegos, por lo que un mayor mantenimiento del sistema sanitario (canillas e inodoro) sería importante para evitar pérdidas de agua y los costos de desagotar los pozos ciegos.

En todos los casos entrevistados los pozos ciegos se encontraron a una distancia de entre 25 y 100 metros de las perforaciones. Ante la pregunta de si la perforación estaba aguas arriba o aguas abajo del pozo ciego un productor respondió “Casi siempre los pozos están corriente abajo del agua” y otro dijo que “hicieron todo medianamente estudiándolo”. Las respuestas durante las entrevistas coincidieron en que el pozo ciego debe ubicarse aguas abajo de la perforación y a una distancia prudencial para no contaminarla.

Ante la pregunta de si sabían porque el pozo ciego debía estar aguas abajo de la perforación la mayoría respondió que “por la contaminación”; lo que muestra una idea clara en la población entrevistada de la posible contaminación de la perforación por el pozo absorbente.

En cuanto al destino de aguas de ducha y cocina en algunos casos éstas iban a un pozo ciego separado y en otros al mismo pozo ciego del baño.

Cuestión a mejorar

En cuanto a si tenían alguna cuestión a mejorar la directora de la escuela dijo:

-“Nosotros desearíamos poder lograr tranquilidad. Poder decirle con certeza a un papá puede tomar tranquilo. Pero uno no está tranquilo porque por más que esté el clorinador y el análisis fisicoquímico dio bien, en otro estudio dio positivo de agroquímicos”.

Otros productores respondieron:

-“Estoy esperando hacer un nuevo análisis bacteriológico a ver si ahora da bien, ya corrí los animales de la zona cercana a la perforación”.

- “Estoy re contenta con el agua, es una risa porque salimos para todos lados con bidones”.

-“Dejame el agua que tengo acá que es la más rica de todas, tomas agua en Tandil y te querés morir”.

Las cuestiones a mejorar por parte de los entrevistados tuvieron que ver con la identificación de posibles fuentes contaminantes por actividades en superficie y las soluciones que podrían llevarse a cabo.

Usos de suelo

De las entrevistas realizadas se desprende que de los siete sitios ubicados en la zona de serranías dos tienen un uso netamente agrícola, cuatro tienen un uso agrícola por sobre el ganadero y los dos restantes tienen un uso ganadero por sobre el agrícola. De los dos sitios entrevistados en la zona de piedemonte uno tiene una actividad agrícola por sobre ganadero y el restante una actividad netamente ganadera. El único sitio entrevistado en la zona de llanura tiene una actividad netamente ganadera. Esta distribución de usos de suelos a lo largo de la cuenca fue resumida por un productor ubicado en la zona de piedemonte de la siguiente manera: “esta zona del camino de la patria hacia Rauch es más ganadera, para el lado de Vela es más agrícola”.

En los 32 sitios de muestreo del censo preliminar se identificaron los siguientes usos de suelo para cada sector geomorfológico (Tabla 27).

Tabla 27. Usos de suelo identificados en cada sitio de muestro (censo preliminar, noviembre de 2019) por sector geomorfológico en la cuenca del arroyo Chapaleofú.

Sector geomorfológico	Agrícola	Mixto	Ganadero	Total
Serranías	11 (55%)	9 (45%)	0 (0%)	20
Piedemonte	2 (29%)	2 (29%)	3 (42%)	7
Llanura	0 (0%)	2 (40%)	3 (60%)	5
Total	13 (41%)	13 (41%)	6 (18%)	32

Fuente: elaboración propia.

Las zonas serranas y de piedemonte tienen tendencia a ser principalmente agrícolas, mientras que la zona de llanura, debido a las dificultades de drenaje de sus suelos (apartado 2.1.4), presenta un uso principalmente ganadero.

Uso de suelo agrícola y sus problemáticas

En cuanto a la utilización de riego, en ninguno de los diez establecimientos en los que se realizaron entrevistas se utiliza riego para los cultivos. Se obtuvieron las siguientes frases al respecto:

-“Antes se utilizaba pero en la actualidad es antieconómico debido al precio del combustible”.

-“Un vecino riega para maíz”.

Cinco productores contaron que en la zona se usa principalmente para el cultivo de papa porque este cultivo “rinde mucho más” y “si no lo regás, no funciona”.

En la zona se aplica riego principalmente en los cultivos de papa y en menor medida en algunos cultivos de maíz.

Se consultó durante las entrevistas a los productores por la utilización de fertilizantes, debido a que estos pueden ser el origen del nitrato en el agua.

Entre los 10 establecimientos entrevistados hay una escuela rural que respondió en base a como es afectada por las actividades agrícolas del campo lindero. Según la directora de la escuela rural, en dicho campo se respeta la franja de no aplicación de agroquímicos a menos 150 metros de las escuelas rurales, dispuesta por ordenanza municipal. En ese espacio se subarrendó el campo y se está realizando un cultivo de espárragos que utiliza abono orgánico, no industrial, producido por los propios arrendatarios. A partir de conversaciones informales con los integrantes de la MERT se pudo corroborar que el establecimiento educativo ha tenido históricamente conflictos con

otros vecinos con producción agrícola, razón por la cuál es posible se mantenga en la comunidad la preocupación a pesar de haber habido cambios en la producción aledaña.

Otros dos establecimientos no utilizaron fertilizantes industriales durante el presente año (2022), uno porque es únicamente ganadero, y otro porque “trata de buscarle la vuelta... le busca la época, analiza las lluvias para no tener que fertilizar”.

Los siete establecimientos restantes utilizaron fertilizantes industriales este año y sobre las cantidades a aplicar dijeron lo siguiente:

--“Se encarga el ingeniero, se fija lo que precisa el suelo y aplica, para no echar de gusto”.

- - “Se necesita utilizar fosforo y urea por el desgaste del suelo. Hay que tener cuidado: la urea por ejemplo, le echan y enseguida riegan porque hace más efecto, pero todo ese nitrógeno va para abajo, a las napas. Dicen que es malo.”

--“Fertilizante lo menos posible, se utiliza algo de fosforo, algo de urea pero con los precios que tiene ahora...”.

--“Se maneja todo en dólares, oficiales mentirosos. Los herbicidas y fertilizantes tienen precio a dólar oficial pero están inflados como si fuera blue. La gente no quiere echar, no conviene pero tenés que echar para que te rinda.”

--“Si venís medio corto de guita no hechas. Si venís con guita le hechas igual porque lo que es fosforo que no se lava ni nada, te queda. Es como tener la plata abajo del colchón. Pero bueno eso se va viendo, depende el bolsillo.”

En los sitios entrevistados el principal factor regulador en la aplicación de fertilizantes es el precio y la situación económica coyuntural del productor. Otros factores con menor grado de influencia son las legislaciones que protegen zonas urbanas, arroyos y sus afluentes, y escuelas. Además sólo un productor detectó la posibilidad de contaminación del recurso hídrico con nitrógeno por aplicación de urea y su posterior riego.

Agroquímicos

En el mismo establecimiento educativo rural mencionado en el apartado anterior se mencionó que en el campo lindero se fumiga más allá de los 150 metros y dan aviso a la escuela antes de la aplicación. La aplicación es realizada dos veces por año previo a fines de semana largo para afectar lo menos posible a la escuela. Por parte de la escuela el recaudo a tomar es que los alumnos se mantengan dentro del perímetro del establecimiento educativo. En conversaciones informales, integrantes de la MERT, comentaron que no siempre las recetas agronómicas que son presentadas contemplan todo

lo que se aplica finalmente. En el caso del predio lindero a la escuela, según corroboraron con el área de ambiente del municipio, existe una sola receta agronómica correspondiente al año 2019 y otra correspondiente al año 2020.

Durante el presente año (2022) dos de los establecimientos entrevistados no aplicaron plaguicidas debido a que los cultivos no sufrieron por el momento el ataque de plagas.

En seis de los establecimientos entrevistados los productores comentaron que están volviendo a una práctica antigua que consiste en arar la tierra previo a la siembra para evitar una de las dos fumigaciones anuales. De esta manera minimizan los costos de la fumigación y en algunos casos reconocen el hecho de no contaminar el suelo. Otro de los factores destacados por los que se lleva a cabo esta práctica es porque aseguran que el glifosato que antes eliminaba toda la maleza ahora solo lo hace con un 10% de la misma. En algunos casos se realiza una única aplicación previa a cosechar para que el cultivo salga limpio. Otra de las razones por las que ha disminuido el uso es porque “no se puede fumigar cerca de las casas”. Los productores reconocen de manera negativa los productos utilizados en las fumigaciones tratándolos de “veneno”, o con frases como “yo no los aplico, los quiero lo más lejos posible” o “antes limpiaban los equipos adentro, ahora los mando a la calle”, pero a su vez reconocen que por una cuestión de rendimiento de los cultivos necesitan aplicarlos.

El principal factor que genera una disminución en el uso de los plaguicidas es el costo de los mismos y, en menor medida, la contaminación del ambiente, los peligros para la salud y las legislaciones que protegen a escuelas, zonas urbanas y arroyos.

En cuanto a si trabajan con receta agronómica hubo 8 respuestas. Seis afirmaron que sí, que se las hace un ingeniero agrónomo. Los dos restantes respondieron creer que sí, pero no lo podían confirmar debido a que uno arrienda su campo y de eso se encarga el arrendador; y a que el otro es peón y no se encarga de las aplicaciones. Otra cuestión a tener en cuenta es que las recetas tienen vencimiento, “cada seis u ocho meses se hace una nueva”. Un productor dijo que “no sé si tendrán todos receta, lo dudo”. Otro productor comparo la aplicación en establecimientos pequeños con establecimientos grandes: “Acá, en mi casa, se maneja igual que siempre. Se revisa todo y se aplica lo que se tiene que aplicar. En otros lugares de mayor cantidad de hectáreas arman una receta y le meten a todos los lotes por igual”. El productor plantea que en los establecimientos pequeños se hace un uso más eficiente que en los establecimientos que tienen una mayor cantidad de

hectáreas. Además, advirtió que desde la aplicación de la receta agronómica “los mosquitos tienen que tener todo en regla para fumigar, antes le metían así nomás. Está bien que se haga así ahora”. Sin embargo, comparó la actividad con “el contador que firma el balance, es la misma historia, se juega en los papeles”.

Otra visión positiva de las recetas fue que “Se hace más que nada por el tema de que se aplique correctamente lo que hay que aplicar, por el tema de la contaminación y las derivas”. Un productor habló sobre la evolución en las maneras de aplicar: “los que andaban arriba de las máquinas no estaban preparados para andar, hoy en día hacen un montón de cursos, están más preparados: “Por lo general los que andan, saben lo que hacen”. Otro productor contó un problema que tuvo con una deriva de un vecino: “en 2009 puse 200 nogales y a los tres años, una deriva de 2,4D del vecino a 2500 metros me mató 90 plantas”.

En todos los casos los establecimientos trabajan con ingenieros agrónomos para definir las cantidades de agroquímicos a aplicar.

Si bien todos los productores entrevistados dijeron contar o creer contar con receta agronómica, hay razones para pensar que esta situación positiva no sería predominante en el partido. Fiscalización vegetal provincial reveló que de aproximadamente 26.000 fumigaciones que se realizan al año, se presentan un promedio de 850 recetas para fumigar en el partido de Tandil (agenciaterraviva.com.ar, 2021) y que ninguna de ellas corresponde a predios linderos a escuelas rurales en las que se detectó la presencia de agroquímicos (Canziani et al., 2020). De todas formas, según lo surgido en las entrevistas, el uso de recetas agronómicas ha influenciado una aplicación más eficiente de los productos.

En cuanto a la disposición de los bidones de agroquímicos los entrevistados respondieron:

- “Los venden, lo llevan a Tandil que los compran, al parque industrial”.
- “El que solía venir a retirar los envases no vino más y quedaron ahí”.
- “Antes los juntaba un chico de Vela que juntaba chatarra. Tenía cualquier cantidad de bidones pero como estaba cerca de Vela lo prohibieron, ahora no hay donde llevarlos”.

En varios establecimientos cercanos a Vela se habló de un recolector de bidones que fue prohibido por acopiar bidones en la zona urbana. Un solo entrevistado nombró al Centro de almacenamiento transitorio Tandil (CAT), que se ubica en el parque industrial.

Está la idea en la población de que tienen que tener un cuidado especial con los envases, y se refleja en las siguientes frases:

-“No puedes hacer nada, no los puedes reusar, no puedes venderlos, no puedes moverlos”.

-“Acá los tengo de raje, el que viene a fumigar que se los lleve”.

En un solo caso se encontró que reutilizaron los envases de agroquímicos en el establecimiento, reconociendo la importancia de realizarle un lavado previo: “Tengo algunos de maceta, lo lavo bien primero. A otros los cortamos a la mitad y lo usamos cuando le hacemos el cambio de aceite a los vehículos. También para darles agua y comida a los perros. Pero tiene que estar bien lavado.”

Ante la consulta de cómo evolucionó la gestión de envases en los últimos años se obtuvieron las siguientes respuestas:

-“Hace 20 años se utilizaban y quedaban tirados en el campo”.

- “Antes los quemaban en el mismo campo... el otro (dueño anterior) no vendía nada no llevaba nada reciclar... hacía quemar todo, largan un olor bárbaro. Todo plástico”.

- “El que viene a fumigar que se lo lleve...Una sola vez uno me lo dejó y dijo, ‘no, quémelo’. Yo en mi campo no quemo plástico. Tráelo y llevalo.”.

En general se observó que mientras antes los bidones eran abandonados o quemados en el campo, hoy son retirados por alguien que se encarga de tal actividad.

En varios casos los encargados o peones de los establecimientos están desconectados con respecto a la gestión de envases de agroquímicos debido a que el servicio de fumigación está tercerizado y quienes lo realizan se encargan de llevar y retirar los envases. Como se puede apreciar en las siguientes frases:

- “Los envases se los llevan ellos (los fumigadores) y yo tampoco puedo traer ni nada”.

-“Acá no puede haber bidones asique el que viene a fumigar que se lo lleve”.

En cuanto a quien retira los envases, los productores comentaron lo siguiente:

-“Anda un tipo con un carro. La otra vez vino y se llevó todo lleno. Si no se apilan ahí, cuando viene uno se lo lleva. Yo se lo doy para que se lo lleven si a mí me hacen limpieza”.

-“Yo sé que viene y levanta acá, levanta allá, levanta por todos lados. Se ve que debe tener algún convenio con alguno... será una recicladora, no sé a dónde lo llevarán”.

-“Hay una persona que está contratada para hacer eso. Los alzan y se los llevan. Esta persona recoge en varios campos”.

- “Si tenés poco no te lo van a buscar”.

Los productores entrevistados no tienen en claro qué hacer con los bidones de agroquímicos y menos aún qué se hace con ellos luego de que son retirados del establecimiento. La legislación (ver apartado 2.4.2) prohíbe almacenar bidones en lugares que no son los Centros Acopio Transitorios pero los productores no tienen información para decidir qué hacer con los mismos.

Se observó una conciencia en los productores acerca de la peligrosidad de manipular los envases de plaguicidas. Los productores saben que alguien en algún momento va a pasar a retirar los envases, no saben con qué periodicidad ni quién. Pero remarcan que antes se quemaban o quedaban tirados en los campos y ahora eso ya no sucede.

Utilización de agroquímicos

En cuanto a la pregunta de si utilizan agroquímicos en algún lugar del campo que no esté relacionado a cultivos un solo productor dijo que “sí, se le aplica en momentos específicos a los frutales, pero no de forma regular”. Los productores entrevistados no aplican agroquímicos en sus propios jardines cercanos a las casas.

En cuanto a si conocen la ordenanza de prohibición a las fumigaciones a menos de 150 m de las escuelas y 60 metros de los arroyos todos dijeron que sí. En cuanto a la forma de enterarse uno de los productores lo describió de la siguiente manera: “Lo que andas en el tema sabes lo que se puede hacer. Que después lo hagan o no es otra cosa.”

Lo que muestra que la información llega a los productores pero no queda claro si hay una comunicación efectiva por parte de entes oficiales. Otra cosa que deja a entrever este productor es que no hay un control de que la ley se aplique correctamente.

La directora de la escuela entrevistada reconoció que en su establecimiento se cumple la ordenanza “porque hay una gestión grande de la agrupación vecinal” y agregó que “En realidad a lo que aspiran es a que tenga 1500 metros. Pero sí o si ellos se encargan de ver que estén a 150 metros de la escuela.” Ante la pregunta de si en la escuela donde trabajó anteriormente se cumple la ordenanza, respondió que “no, allá no”.

Limpieza de equipos de fumigación

Se consultó a los entrevistados dónde se limpian los equipos de fumigación y sus respuestas se ven representadas en las siguientes dos frases:

-“En un callejón dentro del campo, es una plazoleta de tierra que hay, para no quemar, sino que quemas por todos lados, tampoco es que andas tirando veneno por todos lados”.

- “Antes cuando yo recién vine enjuagaban cerca del molino y yo les dije que no. Te quedan todos los herbicidas acá en la casa. Además están las perforaciones cerca. Pueden contaminar el agua. Ahora enjuagan y lo tiran afuera en la calle. Acá no.”

Ninguno aplica las denominadas camas biológicas para el llenado y limpiado de mosquitos de fumigación pero si se observa una noción de peligro con respecto a los agroquímicos. Uno de los productores dijo que “hay fumigadores que cruzan en la calle y van tirando el chorrillo por la calle, pero es más agua que otra cosa, cada cual tiene su pensar”. Esto último fue dicho en tono de crítica hacia quienes vacían el mosquito en caminos. Otro productor en cambio dijo como un cambio positivo que “antes limpiaban los mosquitos adentro del campo, ahora los mando a limpiar afuera”.

La misma práctica, la de vaciar los mosquitos en el camino fue vista de manera negativa por un productor y positiva por otro. Se registró que no hay una idea unificada entre los productores sobre este aspecto.

Con respecto a las fumigadoras algunos productores remarcaron las mejoras de la tecnología a lo largo del tiempo y se reflejan en frases como las siguientes:

-“nosotros usamos bombas independientes, una bomba para fumigar y otra para cargar. Las fumigadoras viejas hacían retorno para atrás, y se cargaba con la misma bomba que vos fumigas, se volvía el veneno para adentro del tanque. Después se veía blanco el tanque, eso es malísimo para la hacienda, tomaban cualquier cosa, pero ahora no pasa más”.

-“Hoy en día los aplicadores hacen muchos cursos, están más capacitados”

Se observa una mejora técnica a lo largo del tiempo, que repercute positivamente en el cuidado del agua y la sanidad de los animales.

Efectos de plaguicidas en la fauna

En cuanto a si notaban mayor o menor cantidad de bichos en el suelo que en épocas pasadas, una entrevistada remarcó que “orugas verdes y negras ya no tengo, para mi es por la fumigación. Caracoles tampoco hay. Para mi es por eso.” En cambio otro entrevistados remarcó que “bichos está lleno, hay por todos lados. En el cultivo no hay bichos en el momento que se fumiga pero después los bichos vuelven otra vez”.

En este aspecto las opiniones se encontraron divididas, no se encontró una visión dominante del asunto.

Uso de suelo ganadero y sus problemáticas

Los siete establecimientos entrevistados que realizan ganadería tienen cantidades de animales que van de 200 a más de 1500. Uno de los establecimientos realiza ganadería equina (605 animales) y el resto ganadería vacuna. Tres de los siete establecimientos realizan ganadería intensiva mientras que en el resto es extensiva.

Un productor relacionó los resultados negativos de los análisis de agua microbiológicos en su campo con el hecho de haber tenido animales aguas arriba de la perforación y en una zona cercana a la misma.

Consumo de agua y alimentación animal

En todos los casos los animales toman agua de bebederos o tanques, que son llenados por molinos (generalmente) o bombas cuando se encuentran cerca de las casas. En un campo donde hay un arroyo el productor explico que “si tienen agua en las bebidas no toman del arroyo. Es mejor, por los parásitos y todo. Pero cuando llevo vacas más arriba toman del arroyo.”

Al ser consultados por problemas de salud en los animales relacionados al consumo de agua, un solo entrevistado dijo haber tenido problemas de salud en los animales por el consumo de agua. Adjudicó este problema a que “algunos animales toman del arroyo...y los paperos de atrás usan el arroyo para riego y por ahí tiran bidones y contaminan el agua. A los animales les agarra diarrea, si los agarrás a tiempo los curás”

En cuanto al origen del alimento para los animales en seis de los siete sitios lo producen en el mismo establecimiento porque “cuando empezás a traer alimento de afuera empiezan a subir los costos”. Y el restante, que es el que tiene un funcionamiento más intensivo, compra “núcleo, un preparado que trae minerales”, en el parque industrial.

En las entrevistas realizadas se identificaron conflictos que surgen de la interacción entre distintos usos de suelo. La directora de la escuela rural entrevistada reconoce que en la zona “las cuestiones de urbanización han avanzado tanto que están pisando el campo” y ve la necesidad de “ordenar esas cuestiones y también las aplicaciones de agrotóxicos”. En una síntesis de la situación la directora de la escuela explicó que “El señor que siembra va a querer sembrar todo porque arrendó todo. Y nosotros como ciudadanos queremos

que nuestros alumnos estén protegidos, en el medio tienen que haber soluciones que satisfagan a todos”. Una de las opciones a este problema que plantea la directora es realizar en la zona prohibida de fumigaciones “pedazos agroecológicos, como el cultivo de espárragos que se está haciendo”. Remarcó que se necesita una “solución que sea equilibrada para satisfacer a unos como otros, sin avasallar los derechos de nadie, pero siempre priorizando el nivel uno que son los niños”. Y extendió la situación al resto de las escuelas rurales: “Hemos quedado como unas pequeñas islas en el medio de los cultivos. Es muy difícil”. Uno de los objetivos de la MERT es la concreción de paisajes multifuncionales que generen un espacio de transición entre la escuela rural y los lotes con producción agropecuaria. La expresión paisaje multifuncional designa a un lugar alrededor de los establecimientos educativos en los cuales se maneja la vegetación nativa y naturalizada, con el propósito de proveer hábitat y fuente de alimento a la vida silvestre.

La directora de la escuela hizo referencia a un mural (Figura 71) que hay en una escuela rural del partido, para mostrar cómo ha crecido la preocupación por los agroquímicos a lo largo de los años. Dijo: “Si, el primer mural lo pinté yo y no era eso. La idea era los nenes yendo al jardín con un cartel de ‘PARE’ porque cruzaban autos a mucha velocidad por la puerta de la escuela. Y ahora se ha transformado en una queja contra los agroquímicos”.

Figura 71. Mural en escuela rural de una cuenca rural del arroyo Chapaleofú contra agroquímicos.



Fuente: Canziani et al. (2020)

Otro conflicto de similar característica se da en Gardey donde “hay un quilombo con el de enfrente que fumiga. Ha salido en los diarios y sigue fumigando”. Un productor

entrevistado dijo: “yo lo entiendo al tipo, también entiendo al del otro lado. Lo que pierde por no hacerlo nadie se lo paga. Es un tema delicado porque todos tienen razón.”

Los entrevistados reconocen el conflicto y entienden ambas posturas. Por un lado, a aquellos que buscan proteger la salud de la población y por otro a aquellos que quieren utilizar toda la superficie productiva. Las soluciones sugeridas por los entrevistados apuntan a una intervención por parte del Estado en forma de compensación a quién se pierde dinero por no poder fumigar: “Si funcionara todo como tiene que funcionar, al que no puede fumigar por los 150 metros el Estado le tiene que dar la plata”.

Los entrevistados no hicieron referencia a un cambio en el modelo productivo para reducir o eliminar el uso de agroquímicos en sus establecimientos, pero en dos casos se valoraron positivamente experiencias de vecinos que no utilizan plaguicidas y fertilizantes en sus producciones.

Gestión estatal de recursos hídricos subterráneos y superficiales

Se consultó a los entrevistados quienes creen que son los responsables de cuidar los recursos hídricos subterráneos y superficiales y se obtuvieron las siguientes respuestas:

-“Como escuela el Estado debe hacerse cargo de la situación. En la actualidad se hace cargo la provincia a través del Consejo Escolar y el municipio a través del aporte de fondos para los análisis.”

- “Cada uno tendría que hacerlo pero el Estado tendría que dar un poco de letra. Decir esto hay que hacer y hacerlo cumplir, principalmente en lo relativo al cultivo de papa que consume muchísima agua”

- “El Estado, pero no pueden controlar otras cosas mira que van a controlar esto”

- “Los paperos porque tiran agua, y agua y agua nomás”.

Surgieron dos cuestiones principales, una es que para los entrevistados el Estado debería ser el responsable de cuidar los recursos y que el control debería estar enfocado, por lo menos en esta zona, en la siembra de papa.

Los entrevistados fueron consultados sobre si en algún momento recibieron alguna visita de alguien para hablar sobre el tema del agua subterránea (ya sea de un ente estatal o privado) y la mayoría respondió que no. Uno de los productores dijo que “alguien más de la facultad vino hace unos años, pero nadie más”. La directora de la escuela dijo que “además de algunos contactos con gente de la Universidad tenemos contactos con la gente de la mesa de escuelas rurales”.

Retroalimentación: utilidad del estudio para los productores

En cuanto a si recordaban los resultados de los análisis realizados en el presente trabajo, en algunos casos recordaron que “dieron bien” y en otros casos no recordaban. Respecto a si los resultados obtenidos por este trabajo y las conversaciones motivaron a hacer alguna actividad de una forma diferente, es decir, si motivaron algún tipo de cambio todos dijeron que no. En cuanto a si les pareció claro el informe que se les entregó algunos dijeron que sí y otros dijeron no recordarlo. Y al consultarles si guardaron el informe y si saben dónde está, la directora de la escuela y la veterinaria del Haras Militar dijeron que sí. El resto de los productores respondieron frases como las siguientes:

-“No sé por dónde andan, pero están guardados”

-“Sólo Dios sabe dónde están”

En cuanto a si les surgió una inquietud a partir de este trabajo, uno de los productores respondió que sí, que le interesó realizar la desinfección del pozo ya que un análisis microbiológico efectuado de forma particular mostró presencia de *Escherichia Coli* y se le dejó un instructivo sobre cómo hacer la desinfección. Excepto este caso, a los restantes productores no les surgió una inquietud, ni realizaron alguna modificación tras la realización del presente estudio.



CAPITULO 5

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

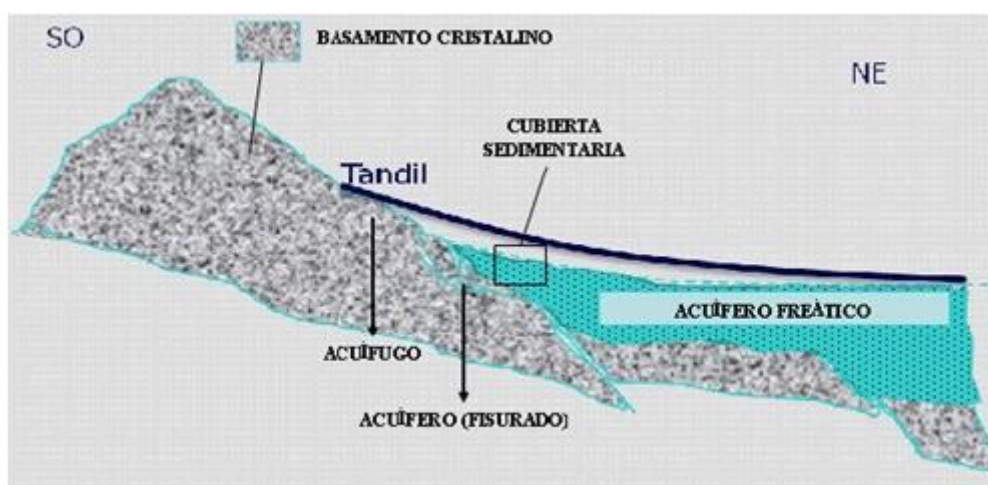
“Hubo una inundación grande en 2012, fue terrible, teníamos la hacienda en la calle” Productor rural entrevistado para esta tesis.

5.1. Modelo conceptual que explica la situación ambiental del sistema

La discusión de los resultados es la principal herramienta para el desarrollo del modelo conceptual, por ello está incluida en este capítulo en forma implícita.

El modelo conceptual del sistema presenta límites físicos (Figura 72). En cuanto al recurso hídrico subterráneo, el límite superior está dado por la superficie topográfica, de carácter permeable. El límite inferior coincide con el basamento cristalino, impermeable. Los límites establecidos en la cabecera son precisos y se definieron de acuerdo a las divisorias de agua determinadas por las sierras. A medida que la cuenca se extiende hacia el NE los límites tienden a ser menos precisos y pueden sufrir variaciones dependiendo de fenómenos naturales (lugar, tipo e intensidad de precipitaciones, contenido de humedad del suelo, etc.) y antrópicos (bombeo excesivo de agua). Por último, el límite Noreste de la cuenca se corresponde con el límite entre los partidos de Tandil y Rauch.

Figura 72. Corte hidrogeológico SO-NE del área de estudio.



Fuente: Barranquero et al. (2012)

En el sector de serranías la recarga se realiza a través de fisuras en el basamento y a través de la delgada capa de sedimentos que cubre al mismo. La combinación de estas dos formas de recarga en el sector de serranías, justifica valores de conductividad de entre 500 y 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la predominancia de aguas bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas que dan cuenta de su juventud. La recarga a través de fisuras en el basamento le otorga una alta vulnerabilidad al acuífero, ya que no permite una atenuación, retraso y degradación de las cargas contaminantes.

En tanto, en piedemonte y llanura la recarga es de menor proporción pero de forma areal por tratarse de un acuífero freático. Esto se comprueba en una respuesta homogénea en los niveles de las perforaciones del sector ante las variaciones estacionales de precipitación.

Los mapas de isopiezas evidencian los bajos gradientes hídricos presentes en el sector de llanura (0,00133 frente a 0,0092 en serranías). Estos valores resultaron menores que el gradiente hidráulico medio para el partido de Tandil que es de 0,01 (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005). La velocidad efectiva media del agua subterránea fue de 0,5; este valor coincidió con el calculado como media regional por Ruiz de Galarreta y Banda Noriega (2005), y por Ruiz de Galarreta et al. (2007) para la cuenca del arroyo Langueyú. El flujo general del agua subterránea es en sentido NE, acompañando la morfología superficial.

En el análisis hidroquímico general se observa que los valores promedio de CE y cloruros (783 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 53 mg/l respectivamente) son coherentes con la dinámica de flujo y los resultados hallados en estudios antecedentes en el partido de Tandil (Ruiz de Galarreta, 2004; Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005). Se trata de aguas de poco recorrido, lo cual se refleja en su bajo contenido total de sales disueltas y en que el cloruro no es el anión predominante. Barranquero et al. (2012) en su estudio de la cuenca del arroyo Langueyú obtuvieron un promedio de 793 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de CE a partir de un universo de 26 muestras. La evolución hidroquímica presentó el mismo patrón que en los trabajos antecedentes en el partido: de bicarbonatada cálcica y/o magnésica en la serranía a bicarbonatada sódica en la llanura. El proceso por el que se da esta evolución es el intercambio catiónico entre el sodio y el potasio, por el calcio y el magnesio.

De acuerdo a una secuencia normal de adquisición de iones, las aguas serían bicarbonatadas en un primer momento de su evolución y luego se convertirían en sulfatadas y cloruradas. En el área de estudio, a pesar de ocurrir un aumento de las concentraciones de cloruros y sulfatos en el sentido del flujo, esta secuencia no se completa debido al escaso recorrido de las aguas subterráneas (89 km) hasta su límite impuesto en el NE.

Con respecto a los nitratos, en el censo preliminar el sitio que mayor concentración de nitratos presentó fue un ex tambo cerrado ocho años atrás. Esta situación se relaciona con que la actividad es generadora de altas concentraciones de nitrato (Pessolano et al., 2012

y Cisneros et al., 2016) y a que, como plantea Kite et al. (2023), las prácticas históricas de gestión del agua y los nutrientes afectan la calidad de las aguas subterráneas durante muchas décadas. Baily et al. (2011) utilizaron técnicas de isótopos estables en una granja lechera intensiva en el sudeste de Irlanda para evaluar los tiempos de permanencia del nitrato en agua subterránea y llegaron a la misma conclusión: las prácticas realizadas en el pasado dejan un fuerte legado debido al lento movimiento del agua subterránea.

El promedio de la concentración de nitratos para el muestreo de noviembre de 2019 (N=32) fue de 35 mg/l, exceptuando los cuatro sitios que presentaron una concentración mayor a 90 mg/l. En trabajos antecedentes se determinaron para el partido de Tandil promedios de nitratos de 33 mg/l (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005), que se estableció como fondo geoquímico para la concentración de este ion en el partido, y 42 mg/l (Barranquero et al., 2019). En otras cuencas del partido se obtuvieron los siguientes valores promedios: 29 mg/l para la cuenca del arroyo Langueyú (Barranquero et al., 2016) y 32 mg/l para la cuenca del arroyo Chapaleofú Chico (Pessolano et al., 2012). En todos los casos los promedios de nitratos fueron menores a lo establecido por el CAA y sólo en un caso superaron el promedio del presente estudio (Barranquero et al., 2019). Se evitó incorporar sitios donde se desarrolle actividad tambera que, como se demostró en estudios antecedentes en el partido de Tandil (Pessolano et al., 2012 y Cisneros et al., 2016), produce una importante afectación a la calidad del agua subterránea. Del análisis de nitrato se concluyó que existen casos de contaminación puntual, potencialmente duraderos (Burow et al., 2010; Wassenaar et al., 2006; Tomer y Burkart, 2003), principalmente asociados a los efluentes ganaderos, domiciliarios y a fertilización.

La cuenca presenta un acuífero libre, lo que aumenta las posibilidades de contaminación. Bajo uso agrícola, la contaminación por nitratos se vuelve de alta probabilidad, si se compara con zonas donde las aguas subterráneas presentan mayores profundidades y las concentraciones de nitratos reflejan tasas de aplicación históricamente bajas (Burow et al., 2010).

Respecto al recurso hídrico superficial, la cuenca puede dividirse, como ya se ha explicado anteriormente en el trabajo, tres sectores geomorfológicos definidos: serranías, piedemonte y llanura.

En el límite de los sectores geomorfológicos de serranías con piedemonte, según determinaciones de sondeo eléctrico vertical realizadas por Pessolano (2010), la profundidad del basamento cristalino es de 27 metros.

Se infiere que la profundidad del mismo aumenta hacia el NE a medida que la subcuenca del arroyo Chapaleofú avanza hacia su desembocadura, al igual que en la cuenca lindera del arroyo Langueyú donde alcanza profundidades de 200 m en el sector de llanura (Barranquero, 2013).

En la mayor parte del sector de serranías los cursos de agua presentan características efímeras e influentes con un drenaje de tipo dendrítico. En la zona de transición entre las serranías y el piedemonte los cursos de agua comienzan a ser efluentes y perennes, recibiendo aportes del agua subterránea. En el sector de piedemonte, y principalmente en el de llanura, las líneas de flujo subterráneo muestran una dirección de circulación prácticamente paralela al arroyo Chapaleofú, lo cual es coherente con la definición de drenaje poco definido, en esta zona, según antecedentes regionales (Ruiz de Galarreta y Banda Noriega, 2005). No obstante, se producen algunos aportes subterráneos locales (muy cercanos al arroyo) que constituyen el caudal básico del arroyo Chapaleofú y aseguran su régimen permanente.

Con respecto al balance hídrico los años 2019 y 2020 pueden considerarse húmedos ya que presentaron excesos mayores al balance modular, principalmente el año 2020. El año 2021 puede considerarse seco ya que presentó un exceso mucho menor al del balance modular y un mayor déficit.

El acuífero explotado en la cuenca del arroyo Chapaleofú se ubica mayormente en el medio sedimentario y es utilizado principalmente para consumo humano, consumo de animales, tambos y riego.

En cuanto al diseño de la red monitorea se relevaron en cada sitio de muestreo variables relativas al manejo del recurso, otorgándole una perspectiva ambiental al estudio, a diferencia de trabajos antecedentes en los que en cada sitio de muestreo se relevaron únicamente características de calidad del recurso hídrico subterráneo (Reyes Gomes et al., 2017; Tirkey et al., 2017; Bodrud-Doza et al., 2018; Masoud et al., 2018; Rezaei et al., 2019; y Singhal et al., 2020). Estas variables de manejo relevadas fueron analizadas estadísticamente con los datos fisicoquímicos.

La realización del ANOVA entre el ion nitrato y las variables de manejo fue útil para confirmar que no existe influencia de las variables de manejo analizadas (mantenimiento, encamisado, uso de suelo en el lote de la perforación y uso de suelo en el establecimiento) sobre la concentración de nitratos en los sitios de muestreo con concentraciones menores a 90 mg/l. Esto muestra la efectividad en la selección de sitios que presentan un recurso hídrico subterráneo lo más natural posible. Se caracterizó el recurso hídrico priorizando sitios que no presentaran contaminación puntual para establecer una línea de base que sea útil para posteriores investigaciones, ya que no había trabajos antecedentes que analicen la cuenca del arroyo Chapaleofú en su totalidad.

Con respecto a la química del recurso superficial se presentó una coincidencia en su evolución a lo largo de la cuenca (de bicarbonatada calcica-magnésica a bicarbonatada sodica-potásica) con el recurso hídrico subterráneo, al igual que ocurrió en estudios antecedentes dentro de otras cuencas del partido de Tandil (Rodríguez et al., 2016). Dicha evolución es más marcada en el agua subterránea que en el agua superficial.

La CE varió desde 597 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el sector de serranías a 788 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la llanura, con valores similares a los establecidos para el arroyo Napaleofú (Rodríguez et al., 2016) donde esta varió entre 460 y 880 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aumentando desde las nacientes hasta la desembocadura. El promedio de CE, 680 $\mu\text{S}/\text{cm}$, también fue similar al detectado por Cortelezzi (2012) de 754 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El pH osciló entre 7,7 y 8,5, en un mayor rango al determinado por Rodríguez et al. (2016) que se encontró entre 7,1 y 7,9.

El OD tuvo un promedio en su porcentaje de saturación de 84%, similar al determinado por Mazzucchelli (2016) para la cuenca del arroyo Napaleofú que fue de 87% y al determinado anteriormente para el arroyo Chapaleofú Grande y el Chapaleofú propiamente dicho por Cortelezzi (2012) que fue de 93%.

En agua superficial no se encontraron concentraciones de nitratos superiores al valor límite establecido por el CAA (45 mg/l), su promedio fue de 21,8 mg/l, por lo que no se detectaron rasgos indicativos de contaminación. De todas formas, Cortelezzi (2012) obtuvo un promedio de 2,2 mg/l para la concentración de nitratos en 2012 en el arroyo Chapaleofú Chico y el Chapaleofú propiamente dicho. Se infiere que el aumento en la concentración de nitratos detectado en este trabajo podría deberse a una mayor aplicación de fertilizantes en la actualidad. Esto concuerda con lo planteado en sus conclusiones por

Neal et al. (2006), donde indican que el aumento en las concentraciones de nitratos en los afluentes rurales del río Támesis (Inglaterra), durante 5 años, se originó por el incremento en las aplicaciones de fertilizantes. Zhang et al. (2021) y Jin et al. (2018) concluyeron que las principales fuentes de contaminación por nitratos en 72 ríos de China fue la aplicación de fertilizantes nitrogenados, el estiércol de ganado y los pozos ciegos; tres fuentes de contaminación detectadas en la presente cuenca en estudio. Los valores mínimos y máximos de nitratos determinados en la cuenca del arroyo Chapaleofú fueron 15,3 y 29,6 mg/l respectivamente, siendo similares a los detectados en la cuenca del arroyo Napaleofú: 23,8 y 39,4 mg/l (Mazzucchelli, 2016). Los sitios que mayor concentración de nitratos presentaron fueron el 5 y el 6, ambos correspondientes a la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico, lo cual puede deberse a que en esa zona exista una mayor concentración de cultivos con aplicación de fertilizantes ricos en nitrógeno. En la cuenca urbana del arroyo Languayú, según el estudio de Ruiz de Galarreta et al. (2013) el promedio de nitratos fue de 58,2 mg/l para la campaña de mayo de 2011, mucho más alto que el promedio para el arroyo Chapaleofú que fue de 21,8 para octubre de 2019. Esta diferencia podría deberse a que la cuenca del arroyo Languayú se asienta sobre la ciudad de Tandil y por lo tanto es afectada por otras actividades humanas como vuelco de efluentes industriales y cloacales al arroyo.

No se encontró un patrón en la distribución de nitratos a lo largo de la cuenca al igual que lo determinado por Binkley et al. (2004), quienes no identificaron una tendencia en la concentración de nitratos con el orden de las corrientes o el tamaño de la cuenca que fuera consistente en las 300 pequeñas cuencas analizadas.

En cuanto a la medición de caudal se obtuvo en la zona de llanura un caudal máximo de 4,11 m³/seg, el cual es bastante superior al obtenido por Boguetti (2015) en el sector de llanura para la cuenca del arroyo Languayú de 1,05 m³/seg para la misma estación del año en 2012. Esto se explica, más allá de eventos climáticos puntuales, por la mayor superficie de la cuenca del arroyo Chapaleofú.

En principio el plan de tesis contemplaba la determinación de amonio, nitrito y fósforo reactivo soluble en el arroyo Chapaleofú y sus afluentes. Al no contar con un financiamiento específico para tal fin, no se pudieron realizar dichas determinaciones. De todas formas, estos tres parámetros fueron determinados por Cortelezzi (2012) en el arroyo Chapaleofú Grande y Chapaleofú y obtuvo como resultado que las variables fueron muy estables y su comportamiento similar. Esto implica que los sitios de muestreo

no presentaron perturbaciones que se reflejen en el cambio de la calidad del agua a través de estos indicadores.

La caracterización morfométrica de la cuenca determinó que su área es de 1600 km², siendo la cuenca de mayor extensión del partido. La subcuenca que mayor superficie presentó fue la del arroyo Chapaleofú Grande (608 km²), luego la subcuenca del arroyo Chapaleofú (528 km²) y por último la del arroyo Chapaleofú Chico (448 km²). Según el coeficiente gravelius, la cuenca presentó una forma de oval oblonga a rectangular oblonga, lo que representa una baja peligrosidad a las crecidas en comparación con las cuencas que presentan formas circulares u oblongas. A nivel de subcuencas las tres presentaron formas oblongas, siendo el menor valor correspondiente a la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico por lo que su tiempo de concentración fue menor y la susceptibilidad a inundaciones es mayor. De hecho en la localidad de Gardey se han notificado en el último tiempo inundaciones que llegaron a comunicarse en los medios locales (Gardey bajo el agua, 24 de marzo de 2022).

El factor de forma muestra un valor bajo, característico de una cuenca triangular, con dos vértices en la cabecera (subcuencas de los arroyos Chapaleofú Chico y Chapaleofú Grande), afluentes de similar longitud y sincronismo en la llegada (que coincide con la subcuenca del arroyo Chapaleofú). Si bien los factores de forma bajos indican que el riesgo de inundación se reduce por la demora de la llegada del agua al cauce principal, (Sarkar et al., 2020), pueden producirse situaciones de anegamiento en la cuenca baja debido al factor de relieve (Sutradhar et al., 2023). Estas características determinan que se puedan provocar crecidas significativas (Gaspari et al., 2012) en la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico, en la zona cercana a la localidad de Gardey, y en la subcuenca del arroyo Chapaleofú, ambas con los menores relieves y densidades de drenaje. La misma situación se da en la subcuenca del arroyo del Fuerte ubicada en la zona de cabecera de la cuenca del arroyo Langueyú (Cifuentes et al., 2018), en la cual los arroyos serranos San Gabriel y La Cascada tienen similar longitud y sincronismo en la llegada a su confluencia, presentando peligrosidad ante crecidas, hecho que motivó originalmente la construcción de una presa que dio origen al Lago del Fuerte. Una situación similar fue descrita por Bhatt y Ahmed (2014) en el río Krishna (India), donde subcuencas con mayor relieve y densidad de drenaje confluyen en una subcuenca con menor relieve y densidad de drenaje, produciendo inundaciones que llevaron a la construcción de una

presa. Sutradhar et al. (2023) detectaron la misma situación en la cuenca del río Ajay (India) y recomendaron la construcción de diques en las cuencas inferiores.

Los cursos de agua de mayor longitud fueron los de orden mayor y aquellas de menos longitud fueron los de órdenes menores. Diez cursos de orden 1 presentaron una longitud total de 86 km, mientras que en el orden 3 un solo curso mostró una longitud de 65 km. Cinco cursos de orden 2 reunieron una longitud de 52 km (Figura 22). Muchos estudios presentaron resultados similares (Farhan et al., 2017, Gizachew y Berhan, 2018, Gutema et al., 2017, Khare et al., 2014, Singh et al., 2014), lo que se atribuye a la variación de la pendiente y las características de los distintos sectores geomorfológicos de la cuenca. Esto implica además la variabilidad de la capacidad de infiltración a medida que varían los órdenes a lo largo de la cuenca. La longitud corta de los arroyos describe pendientes pronunciadas, mientras que las longitudes más largas indican un gradiente relativamente más plano (Withanage et al., 2014).

Además de la incorporación de variables de manejo del recurso hídrico para contemplar una visión ambiental se realizaron las entrevistas a los productores rurales, cuyos resultados se han venido presentando hasta aquí, y se integraron con los correspondientes a los análisis fisicoquímicos.

Por un lado, se detectó durante las últimas décadas una disminución de la cantidad de habitantes en las zonas rurales, con gran cantidad de casas abandonadas. Por otro lado, se observó un avance del sector inmobiliario hacia zonas rurales, trayendo nuevos habitantes y poniendo de manifiesto las incompatibilidades de uso de suelo entre las zonas agropecuarias y urbanas. Esto se corresponde con lo planteado por Jacinto (2011): para el partido de Tandil el decrecimiento absoluto de la población rural dispersa y el estancamiento/reducción de la tasa de crecimiento de la población aglomerada permanecen como tendencias dominantes. Pero también existe un flujo de nuevos habitantes desde la ciudad de Tandil a las localidades rurales debido a la existencia de terrenos más accesibles.

Las principales actividades productivas de la cuenca son agricultura, ganadería (extensiva e intensiva) y en menor medida actividad tambera. En el sector de serranías y piedemonte predominan la actividad agrícola por sobre la ganadera. Esto se debe a la presencia de suelos con mayor aptitud para la actividad agrícola. En el sector de llanuras predomina la actividad ganadera por sobre la agrícola. Se puede encontrar actividad

tambora en los tres sectores geomorfológicos definidos. De acuerdo con datos antecedentes se encontró que la actividad tambora es la que mayor impacto produce en la cuenca con respecto al agua subterránea.

En cuanto a la agricultura se detectó una preocupación de la población por el uso de grandes cantidades de agua para el riego de papa. En el presente estudio no se analizaron agroquímicos pero se tuvo en cuenta como antecedente a Banda Noriega et al. (2018) que detectaron bajas concentraciones de todos los agroquímicos determinados (Atrazina; 2,4-D; Acetoclor; Imazapir; Glifosato; AMPA) en los cursos superficiales del partido de Tandil, a excepción de acetoclor que no se detectó en uno de los cursos. Se constató que los niveles fueron inferiores a los valores de referencia para agua de bebida humana para los casos que existen dichas referencias (atrazina, 2,4 D y glifosato).

Se registraron una serie de conflictos entre productores y vecinos sobre la aplicación de agroquímicos. Los productores identifican a los agroquímicos de manera negativa, utilizando palabras como “veneno” pero reconocen tener que aplicarlos por una cuestión de rendimiento. Se encontró que en algunos casos se cumplen las legislaciones sobre no realizar fumigaciones en zonas cercanas a escuelas rurales, viviendas, arroyos y sus afluentes y en otros casos no. Esto se debe, entre otras cosas, a la falta de control estatal. La preocupación respecto al uso de agroquímicos es coherente con su detección de presencia en agua subterránea y suelo en escuelas rurales (Canziani et al., 2020); y agua subterránea y arroyos del partido de Tandil (Banda Noriega et al., 2018). La frase de la directora de la escuela en la que dice “las escuelas rurales hemos quedado como islas entre los cultivos” es coherente con el registro de Canziani et al. (2020) que detectaron el avance de los cultivos hasta el límite de los establecimientos educativos. La única escuela rural que fue parte de este estudio presentó una fuerte presión de la asociación de padres para que se cumpla la legislación vigente, que restringe la aplicación de agroquímicos a una distancia de 150 metros de los límites de la institución. Sería interesante estudiar en el resto de las escuelas de la cuenca si existe una relación entre presión de los padres de la escuela rural con el cumplimiento de la normativa. En el presente estudio eso no se realizó ya que excede los objetivos del mismo. Ante la preocupación de los propios productores con respecto a los efectos de los agroquímicos sobre la salud sería interesante evaluar la posibilidad de tender a prácticas que reduzcan a su mayor expresión el uso de agroquímicos. Diversos conflictos relacionados con agroquímicos llegaron a los medios de comunicación locales: escuelas rurales afectadas por fumigaciones (Maidana, 5 de

julio del 2020, www.conclusion.com.ar/info-general/en-tandil-las-escuelas-rurales-deben-convivir-con-16-tipos-de-agroquimicos/07/2020/); establecimientos que rodean escuelas rurales no cuentan con receta agrícola (Añeli, 27 de mayo del 2002, www.agenciatierraviva.com.ar/tandil-muchas-fumigaciones-y-pocas-recetas); debate por la ordenanza que limita el uso de agroquímicos (Scipione, 6 de diciembre de 2021, www.agenciatierraviva.com.ar/tandil-permitio-el-uso-de-agrotoxicos-a-solo-60-metros-de-las-viviendas-y-a-150-metros-de-las-escuelas/); disputa entre un productor agropecuario de Gardey con vecinos por aplicación de agroquímicos en cercanías de la zona urbana (En Gardey denuncian aplicación sin control de agroquímicos en campo lindero al pueblo, 23 de septiembre de 2020, www.lavozdetandil.com.ar/2020/09/23/en-gardey-denuncian-aplicacion-sin-control-de-agroquimicos-en-campo-lindero-al-pueblo).

Se registraron casos de derivas de agroquímicos que afectaron cultivos de otros productores, pero también que a partir de capacitaciones a los aplicadores en los últimos años estas situaciones han dejado de suceder. Se encontró en la población una vuelta a una práctica pasada que consiste en arar la tierra para evitar los costos de una de las dos fumigaciones anuales. Con respecto a los bidones de agroquímicos se encontró que cada determinada cantidad de tiempo son retirados por una empresa para su reciclaje; en tiempos pasados eran quemados en los mismos campos.

En cuanto a la limpieza de los equipos de fumigación se encontraron dos prácticas diferentes: una consiste en hacerlo siempre en un mismo sector (sin impermeabilizar) del propio campo y otra consiste en hacerlo en caminos rurales.

Todos los productores dijeron tener receta sanitaria para la aplicación de agroquímicos y lo vieron como una medida positiva que lleva a un uso más eficiente de los mismos.

No se encontró en la población una tendencia a avanzar a sistemas de producción alternativos.

Con respecto a la ganadería se detectó la presencia de feed-lots como uno de los sitios de mayor peligro de contaminación del recurso hídrico subterráneo por la acumulación de animales y sus efluentes.

Con respecto a los arroyos los productores rurales identificaron situaciones negativas como tirar basura, sacar agua para riego, vaciar camiones atmosféricos, hacer leña y lavar los mosquitos. También quedó demostrada la función recreativa que se hace en la zona

del arroyo; asimismo fue resaltada la peligrosidad que presenta en diferentes sectores si es utilizado para baño.

Se registró en la zona de llanuras una problemática vinculada a las inundaciones y un pedido por parte de la población de dragado del arroyo para que no se vean afectados a futuro los campos linderos a éste. En la zona de llanura se encontró que algunos vecinos realizan canalizaciones para sacar el agua de sus campos y perjudican a otros vecinos. En el sector de serranías se encontró la modificación de cauces para retener agua en sus propios campos y esto resulta también en la afectación a campos linderos.

Al igual que lo determinado por Boguetti (2015) en la cuenca del arroyo Langueyú, el curso de agua que fue identificado una mayor cantidad de veces por los entrevistados es el que mayor caudal presenta, en este caso el A°Chapaleofú, por sobre el A°Chapaleofú Chico y el A°Chapaleofú Grande.

Como ha sido detectado en la cuenca del A°Langueyú (Boguetti, 2015) existe una apreciación mayoritariamente negativa sobre el estado de calidad del arroyo Chapaleofú. Si bien el arroyo Langueyú presenta evidencias de contaminación (Cortelezzi et al., 2019) que no existen en el arroyo Chapaleofú, el mismo tiene una imagen negativa en cuanto a su calidad por “tirado de mugre”, “fumigaciones cercanas al arroyo”, “limpieza de equipos de fumigación” y “vaciado de camiones atmosféricos”, entre algunas de las causas detectadas por los entrevistados. Con respecto a bañarse en el arroyo, la población el riesgo más mencionado por la población fue el de ahogarse. Este también fue detectado por Boguetti (2015) pero en segundo orden, por debajo de la posibilidad de enfermarse, que no apareció en el presente trabajo.

En la misma línea de lo determinado en el A° Langueyú (Boguetti, 2015), la población no tuvo acceso a datos sobre la calidad de los arroyos de la cuenca del arroyo Chapaleofú. Teniendo en cuenta esto, queda en evidencia que no existen canales o mecanismos públicos de comunicación de información respecto al sistema hídrico superficial o, de existir, su llegada a la sociedad es muy limitada.

A diferencia de lo detectado por Boguetti (2015) en la cuenca urbana del arroyo Langueyú donde se determinó que la gran mayoría de la población nunca hizo algún tipo de uso del arroyo, en la cuenca del arroyo Chapaleofú la mayoría de los entrevistados dice hacer o haber hecho uso del arroyo, principalmente recreativo.

Boguetti (2015) detectó que la participación en reclamos formales desde la ciudadanía hacia entidades oficiales debido a temáticas relacionadas con los arroyos de Tandil es muy escasa. En la cuenca del arroyo Chapaleofú, si bien fue un tema minoritario, se detectaron dos reclamos ante las autoridades: uno reside en la necesidad del dragado del arroyo en la zona de llanuras para evitar inundaciones; y, el otro, en una denuncia hacia un vecino por el endicamiento del arroyo en su campo y la disminución del caudal en campos vecinos. En ninguno de los dos casos se detectaron acciones de las autoridades para solucionar dichos reclamos.

En los pocos casos detectados por Boguetti (2015) en los que se efectuaron reclamos de individuos o colectivos por diferentes medios en relación a los arroyos, éstos se originaron por la apreciación de un estado alterado del recurso hídrico superficial y de los problemas que esto acarrea. Por su parte, en la cuenca del arroyo Chapaleofú, no se detectaron reclamos específicos respecto a la calidad del agua superficial, ya que estudios antecedentes, como también este trabajo, demuestran una degradación mucho menor que en la vecina cuenca urbana, y su afectación no es por tanto tan evidente para la población.

En líneas generales, el recurso hídrico subterráneo de la cuenca del Chapaleofú presentó condiciones de calidad y cantidad adecuadas para el uso doméstico y agropecuario. De todas formas, se constataron situaciones puntuales donde estas condiciones han sido degradadas por el aprovechamiento y/o la gestión inadecuada del recurso. Es por ello que la primera implicancia de este diagnóstico se refiere a la necesidad de concientizar a la población respecto a la fragilidad de la fuente de agua que utiliza y a cuáles son las prácticas que debe adoptar para contribuir a su cuidado; no es posible proteger un recurso que no se conoce por lo cual la educación ambiental es el primer paso para avanzar en este aspecto.

El uso de agroquímicos genera diversos conflictos:

- Por un lado, el avance de la urbanización en zonas que eran puramente agropecuarias limitan el uso de agroquímicos y los productores entran en conflicto con los vecinos.
- Por otro lado, en las escuelas rurales hay una creciente preocupación por el uso de agroquímicos en campos linderos a las instituciones y los efectos que éstos podrían tener en sus alumnos y docentes.

Esta situación deja claramente expresada la importancia del ordenamiento territorial, definiendo explícitamente bajo qué condiciones mínimas de protección al recurso hídrico y a la población se llevarán adelante los usos de suelo de cada sector de la cuenca.

El carácter libre del acuífero presente en la cuenca lo hace muy vulnerable en toda su extensión. No obstante algunos sectores lo son más especialmente, como es el caso de las sierras por su permeabilidad secundaria por fracturación y su importancia en el proceso de recarga, y el área de llanura por la escasa profundidad del nivel freático. En este sentido es imprescindible comenzar a diagramar herramientas de control y monitoreo de la construcción, uso y abandono de perforaciones; así como de las decisiones respecto al tratamiento y disposición final de todo tipo de efluentes, particularmente en los sectores más vulnerables. Del mismo modo, las redes de monitoreo son un recorte de una población de la cual se decide tomar una muestra representativa y eficiente de ser evaluada con cierta periodicidad.

Considerando que un sistema natural tiene un funcionamiento complejo en el cual se interrelacionan gran cantidad de variables, siempre un modelo es una simplificación con importantes limitaciones. No obstante esta limitación, la importancia de establecer redes monitoras de recursos hídricos eficientes y representativas del objetivo de muestreo, principalmente en países latinoamericanos donde los recursos son escasos para el monitoreo es fundamental para su diagnóstico. Además cobra importancia incorporar en cada sitio de muestreo variables relacionadas al manejo del recurso, ya que ha habido una gran intensificación en las actividades agropecuarias con su consecuente impacto sobre los recursos hídricos (Viglizzo, 2007). A través del desarrollo de esta tesis se registró una ausencia de gestión estatal sobre los recursos hídricos subterráneos y superficiales, por lo tanto el aporte de una propuesta de red monitora cobra especial relevancia.

Para la representación del modelo conceptual de la cuenca del arroyo Chapaleofú se retoma el gráfico presentado por Fernández (2000). Este define el sistema macroambiental como aquello que no es sociedad ni naturaleza sino su interrelación históricamente transformada. Se caracteriza por una articulación entre la oferta del medio natural, como proveedora de recursos y receptora de los desechos, y las demandas y presiones que el medio socio económico genera sobre el primero. Para representar el modelo conceptual de la cuenca del arroyo Chapaleofú, se adaptó el gráfico de manera que la esfera de lo ambiental, en la cual se representa el campo articulado problemático, demuestre la situación ambiental de la cuenca.

En concordancia con lo mencionado hasta el momento, un problema ambiental se suscita cuando existe un desequilibrio en estas interrelaciones. La característica primordial que debe cumplirse es que ambas esferas (económico-social y natural) se encuentren involucradas. Por ejemplo, un evento natural que no afecte a los actores o estructuras sociales, no es considerado un “problema ambiental”. Para su definición, Fernández (2000) retoma las alternativas de interacción entre subsistemas y expresa que es “la manifestación de una deficiencia (merma o carencia) de racionalidad entre expresiones del subsistema natural y del subsistema social”. Este desajuste dependerá de una caracterización objetiva y de la definición de racionalidad optada para su análisis. El mismo evento puede ser problemático o no dependiendo si se enfoca desde una visión económica o ambiental.

Se agregaron al sistema macroambiental de Fernández (2000) las propiedades emergentes del subsistema ambiental que son fruto de las relaciones establecidas en el mismo e interactúan con los subsistemas natural, social y ambiental, modificándolos y modificándose a ellos mismos (García, 2006).

En la figura 73 la forma de nube del subsistema social se basa en que sus componentes, acciones y estructuras son intangibles (ideas, necesidades, deseos, actores, etc.). La forma rectangular y el grosor de las líneas que enmarcan el subsistema natural tienen que ver con lo tangible del mismo y sus componentes, procesos y acciones.

Las cualidades emergentes del sistema se representan dentro de una estrella ya que esta forma geométrica es una cualidad emergente que surge de la interpretación humana de un objeto astronómico luminoso.

Las cualidades emergentes están asociadas a las incertidumbres a futuro que se plantean en el sistema. Sus características no se pueden prever de forma exacta en la actualidad y dependerán de los procesos de desestructuración y estructuración que se originen en las relaciones entre los diferentes elementos del sistema.

Las propiedades emergentes detectadas en el presente trabajo fueron:

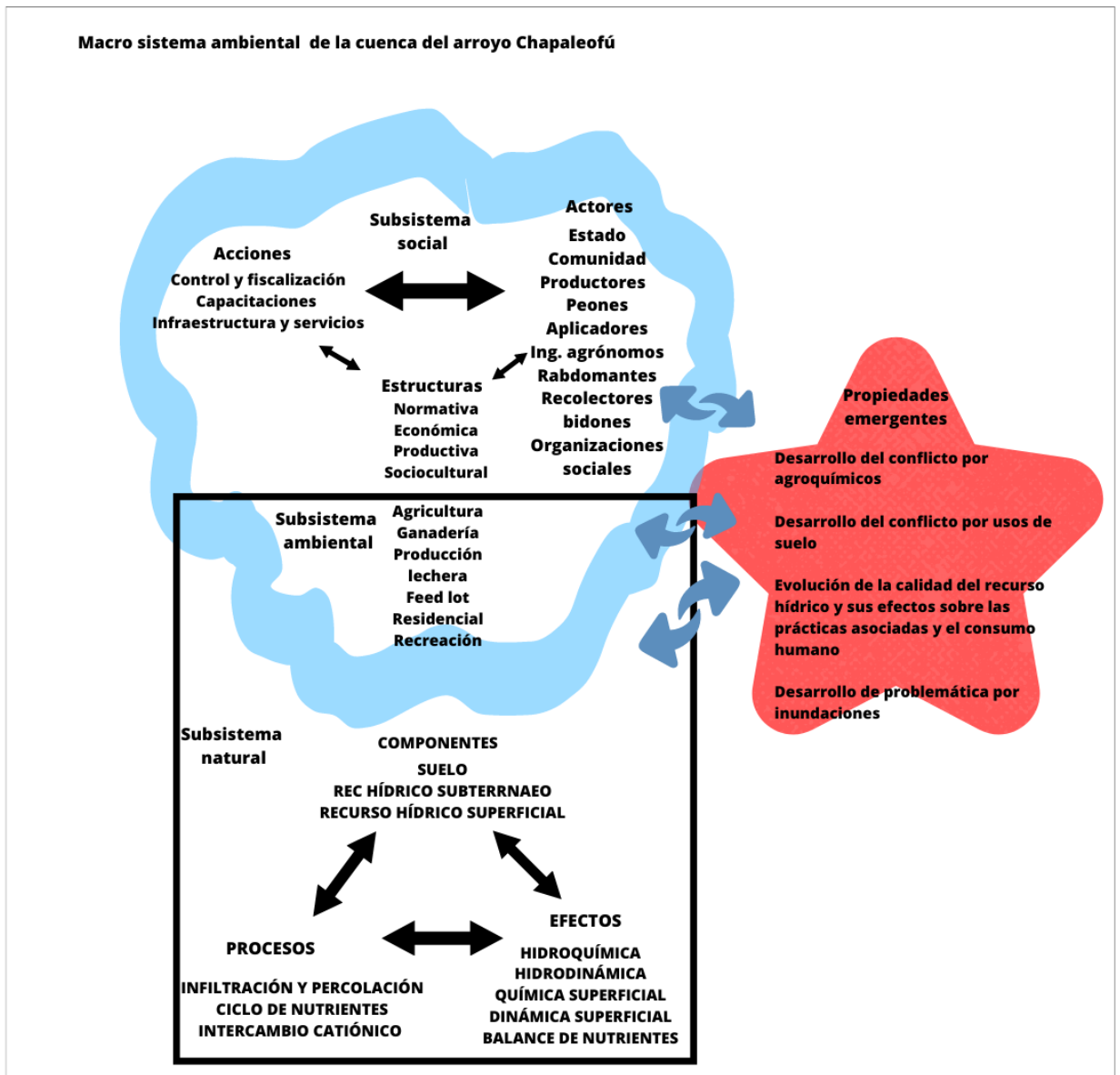
Desarrollo del conflicto por usos de suelo. El mismo está determinado por el crecimiento de áreas urbanas en zonas anteriormente rurales con actividad agropecuaria; por el crecimiento de zonas agropecuarias en zonas donde anteriormente existía pastizal serrano; por la aplicación de agroquímicos en zonas linderas a escuelas y zonas urbanas.

Desarrollo del conflicto por agroquímicos. El mismo está determinado por la presión social para limitar su uso en zonas cercanas a escuelas, arroyos y viviendas; por la legislación que establece perímetros de protección en estas zonas; por el accionar judicial ante las denuncias radicadas por ciudadanos; por la intención de los productores de sembrar en toda la extensión de su campo; por los costos de los agroquímicos para los productores; y por la conciencia ambiental de los mismos.

Evolución de la calidad del recurso hídrico, en función de las prácticas agropecuarias asociadas, y su efecto sobre la producción agropecuaria y el consumo humano. Esta cualidad emergente está relacionada con las decisiones que se tomen en aquellos sitios donde la generación de efluentes (tambos, feed lots) y la aplicación de agroquímicos son importantes.

Desarrollo de problemática por inundaciones. Esta cualidad emergente está relacionada con la evolución de un sistema de alerta temprana de inundaciones que se está desarrollando en la cuenca para alertar a las autoridades competentes. Existe un reclamo en la población para realizar el dragado del arroyo en la zona de llanuras que es la más afectada, pero esta técnica no es factible ya que implicaría enviar mayores caudales aguas abajo, perjudicando a terceros, y esta interpretación es parte del problema.

Figura 73. Representación del modelo conceptual de la cuenca del arroyo Chapaleofú.





CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

“El vecino quiere fumigar, nosotros cuidar a los chicos. Tiene que haber soluciones que satisfagan a todos”. Directora de escuela rural entrevistada para esta tesis.

6.1. Características morfométricas de la cuenca

En la caracterización de los parámetros morfométricos de la cuenca del arroyo Chapaleofú, el SIG resultó ser una herramienta eficiente y ágil para su cálculo. La subcuenca del arroyo Chapaleofú mostró una mayor peligrosidad ante eventos de crecidas debido a la recepción del agua proveniente de las subcuencas de los arroyos Chapaleofú Chico y Grande, y la poca pendiente de su terreno. A su vez, la subcuenca del arroyo Chapaleofú Chico mostró un mayor peligro de inundación que la subcuenca del arroyo Chapaleofú Grande. Con esta herramienta y el trabajo de campo se han podido observar en determinados sectores modificaciones antrópicas sobre la hidrodinámica superficial de la cuenca, realizadas por parte de productores rurales con el fin de retener o sacar agua de sus campos, que podría profundizar la vulnerabilidad de la cuenca a eventos hidrológicos extremos. Dada la escasa información existente acerca del riesgo de inundaciones en la cuenca del arroyo Chapaleofú, se considera este aporte significativo para la gestión hídrica de la cuenca.

6.2. Recurso hídrico subterráneo

Los aspectos esenciales del diseño de la red monitorea de recursos hídricos subterráneos incluyeron, al igual que en trabajos antecedentes, el uso de herramientas de georreferenciación, el uso de SIG para superposición de variables, y la evaluación estadística de criterios utilizados, con el fin de cumplir los objetivos de la red.

En ciertas zonas resultó dificultoso el registro de perforaciones debido a que la zona se encontraba despoblada, no se obtuvo el permiso de los propietarios de los establecimientos, o las perforaciones se encontraron selladas por lo que no se pudo medir el nivel freático. El conocimiento de las características de diseño y construcción por parte de los propietarios de las perforaciones fue escaso.

El análisis hidrodinámico e hidroquímico se realizó en función del acuífero freático ya que no hay evidencias de que se presente en el área otro sistema subterráneo por debajo de éste.

En relación a la hidrodinámica, la dirección del escurrimiento regional de la cuenca es hacia el Noreste. La relación arroyo-acuífero presenta características similares a estudios antecedentes en el partido de Tandil. Con la elaboración del mapa equipotencial se corroboraron los límites de la cuenca determinados, especialmente en la zona de llanura.

La hidroquímica presentó características similares a otras cuencas del partido; entre ellas, se determinó que la concentración total de sales disueltas es baja. La evolución hidroquímica presentó el mismo patrón que en trabajos antecedentes en el partido (de bicarbonatada sódica-potásica a bicarbonatada cálcica-magnésica). Se pudo observar que no hay una idea certera en la población del origen de la dureza en el agua y del proceso de intercambio catiónico que se produce a medida que el agua subterránea recorre la cuenca, pero si advierten con claridad el cambio en la composición del agua y los efectos sobre el uso de la misma.

En cuanto a las concentraciones de nitratos, en los casos en que superaron los 45 mg/l se identificaron como probables causas las prácticas agropecuarias desarrolladas en el entorno cercano de los pozos de muestreo. Pero no se encontró relación estadísticamente significativa entre las variables de manejo analizadas y la concentración de nitratos en los sitios restantes. Esto refleja que la selección de perforaciones cumplió su objetivo de seleccionar sitios con bajos impactos antrópicos. No obstante, es imprescindible que el productor agropecuario y los actores involucrados en la actividad rural tomen conocimiento y conciencia sobre el uso y manejo integral del recurso hídrico dentro de la actividad productiva; esto involucra no sólo la forma como se efectúa la apropiación del agua, sino también las medidas de protección al recurso hídrico evitando la disposición inadecuada de cargas contaminantes.

La metodología empleada en el diseño de la red monitorea fue de utilidad para reducir los puntos de muestro de 104 a 32, con el objetivo de disminuir los tiempos y costos de monitoreo. Dicha metodología es transferible a estudios geohidrológicos de otras cuencas del faldeo Norte del sistema serrano de Tandilia, como así también a regiones con diferentes características geohidrológicas, teniendo la precaución de definir las variables de análisis y sus condiciones a priorizar de acuerdo al conocimiento del investigador de dichas características.

La práctica de la rabdomancia para la selección de las perforaciones está aceptada en la población y es facilitada por las diferentes empresas perforadoras.

Se encontró que en la cuenca hay buena disponibilidad del recurso hídrico subterráneo en cantidad y calidad para las distintas actividades agropecuarias que se llevan adelante.

Todos los entrevistados llevan registro y guardan los calendarios de lluvia. Esta información recolectada a lo largo de mucho tiempo podría constituir una base de datos para estudios que requieren un mayor nivel de detalle.

Se cree necesario brindar información de parte de otros organismos competentes en la temática sobre la frecuencia y método de limpieza de los tanques.

También se considera necesaria una mejor comunicación de los entes encargados de proveer agua en las localidades rurales sobre la calidad de la misma, para evitar opiniones adversas sobre las características del agua de red provista.

Los únicos establecimientos entrevistados que realizan análisis periódicos del agua, principalmente microbiológicos, son aquellos que corresponden a entes estatales.

En la población hay una tendencia a intentar proteger a ciertos grupos vulnerables (como mujeres embarazadas y niños pequeños) al consumir agua envasada en lugar de la extraída de la perforación. Además, está empezando a cobrar fuerza una inquietud de la población con respecto a los agroquímicos, que no son tenidos en cuenta en los análisis que normalmente se le realizan al agua para consumo (físicoquímico y microbiológico). Sin embargo, la población no toma medidas en los casos en que la concentración de nitratos excede los límites máximos establecidos por el CAA, pero sí lo hace rápidamente cuando detecta visualmente suciedad en el agua.

Al igual que sucede con las perforaciones, es muy escasa la información que existe sobre las características de construcción de las cámaras sépticas y pozos ciegos, por lo que se considera importante empezar a dejar registro a medida que nuevas cámaras sépticas y pozos ciegos sean construidos. También se considera importante el mantenimiento de canillas y el sistema sanitario para evitar pérdidas de agua que colmaten rápidamente el pozo ciego y la cámara séptica.

A excepción de casos puntuales, como la preocupación por presencia de agroquímicos, o un mal resultado microbiológico, los entrevistados se mostraron conformes con la calidad del recurso hídrico subterráneo.

6.3. Recurso hídrico superficial

Los aspectos esenciales del diseño de la red monitorea de recursos hídricos superficiales incluyeron, al igual que en trabajos antecedentes, el uso de herramientas de georreferenciación, el uso de sistemas de información geográfica para superposición de

variables, y la evaluación estadística de criterios utilizados, con el fin de cumplir los objetivos de la red.

Este trabajo permitió conocer las características básicas del recurso hídrico superficial en la cuenca del arroyo Chapaleofú. Los resultados constituyen información útil para otras investigaciones y para la toma de decisiones en pos de la protección del recurso y su gestión integrada. Además se considera necesario ampliar la investigación e incorporar otros parámetros de calidad del agua superficial, como el contenido de nutrientes.

No se encontró relación estadísticamente significativa entre las variaciones puntuales de la concentración de nitratos y los diferentes usos de suelos.

El arroyo Chapaleofú, al igual que otros arroyos rurales del partido, no mostró perturbaciones que presenten un cambio en la calidad del agua en los sitios de muestreo. De todas formas, se constató un importante aumento en la concentración de nitratos con respecto a un trabajo realizado en el mismo arroyo en el año 2012, esto puede deberse a la aplicación de una mayor cantidad de fertilizantes en la actualidad.

Es imprescindible que el productor agropecuario y los actores involucrados en la actividad rural tomen conocimiento y conciencia sobre el uso y manejo integral del recurso hídrico dentro de la actividad productiva; esto involucra no sólo la forma como se efectúa la apropiación del agua, sino también las medidas de protección al recurso hídrico evitando la disposición inadecuada de cargas contaminantes.

Se relacionó el tamaño del arroyo y la cartelería indicativa (Figura 74) del mismo con la mayor identificación de los cursos de agua por parte de los entrevistados. Razón por la cual, se considera que una mayor presencia estatal en este sentido sería una buena herramienta para que la población rural comience a apropiarse de los recursos hídricos que tiene en su territorio.

Figura 74. Cartelera indicativa del arroyo Chapaleofú sobre la ruta Provincial 74



Fuente: fotografía del autor.

Se registró que, a pesar de valorizarse en algunos casos la calidad del agua de forma negativa, el arroyo cumple un rol principalmente recreativo.

El arroyo a lo largo de la cuenca presenta más particularidades que generalidades. Por un lado en cuanto a características del lecho (fangoso o de carbonato de calcio), y por otro lado por su escurrentía (aparentemente estancado en sectores con poca pendiente y con mayor escurrimiento en sectores con mayor pendiente).

Los productores entrevistados no tuvieron acceso a análisis sobre calidad del agua en el arroyo. Se considera importante brindar información a la población de este aspecto. Por un lado, para prevenir sobre posibles afectaciones causadas por el estado del arroyo, y por otro lado, para evitar opiniones negativas sobre la calidad del mismo, que no tengan sustento empírico.

Se detectó un basural a la orilla del arroyo en las cercanías de Gardey y se registró el tirado de basura en el arroyo como una práctica que sucede en la cuenca. Debido a esto, toma importancia la concientización acerca de los problemas que esto puede causar a la calidad del arroyo y a la salud pública.

Con respecto a la prohibición de aplicar agroquímicos en la cercanía a arroyos y sus afluentes, se registró una falta de control sobre los aplicadores y que todo queda librado a la voluntad del aplicador. Los productores ven como algo negativo el no cumplir con la ordenanza y reconocen la dificultad de efectuar controles en diferentes zonas, por su compleja accesibilidad.

6.4. Usos de suelo, conflictos y gestión estatal

En la cuenca es una práctica extendida el uso de fertilizantes para agricultura, siendo su principal regulador el precio de los mismos, seguido por las legislaciones que protegen perímetros de arroyos, escuelas rurales y zonas urbanas, y el uso obligatorio de la receta agronómica.

En la cuenca también es una práctica extendida la fumigación de cultivos. La misma tiene como principal factor regulador el costo de los insumos, que ha llevado a recuperar una práctica antigua en los productores que consiste en arar la tierra previamente a cultivar para ahorrarse una de las dos fumigaciones anuales. Otros factores reguladores son la aplicación de la receta agronómica y las legislaciones que protegen perímetros de arroyos, escuelas y zonas rurales. Los productores identifican a los productos utilizados para fumigar de manera negativa pero reconocen tener que aplicarlos por una cuestión de rendimientos.

La implementación de la receta agronómica es vista de manera positiva por los productores como una forma de aplicar los agroquímicos que corresponden y en las medidas necesarias para proteger la salud y el ambiente. De todas formas esto está sujeto a la predisposición de los aplicadores y la presión social de los damnificados, siendo que la fiscalización de los mismos es escasa.

Con respecto a los envases de agroquímicos, estos son retirados por un particular o una empresa y esto representa una mejora en su gestión con respecto a tiempos pasados en los que eran quemados en los campos.

Con respecto a la limpieza de los equipos de fumigación los productores entrevistados no utilizan las llamadas camas biológicas para el llenado y limpieza de los equipos. Se considera importante que las entidades correspondientes brinden información al respecto para unificar las prácticas de llenado y limpieza de los equipos de fumigación.

Con respecto a la ganadería, los animales se abastecen de agua para consumo de agua subterránea excepto en algunos casos específicos donde se abastecen del recurso hídrico superficial. Se detectó contaminación en una perforación y la causa más probable fue la presencia de animales en el sector aledaño a la misma.

El principal conflicto que se presenta en la cuenca del arroyo Chapaleofú tiene que ver con la aplicación de agroquímicos. Es un tema que alarma a la población y se han detectado concentraciones de agroquímicos en perforaciones de agua pertenecientes a entes estatales en diferentes lugares del partido.

Con respecto a la gestión de entes estatales sobre el recurso se ha detectado que, excepto en lugares que dependen directamente del estado, es prácticamente inexistente con respecto al agua subterránea y al agua superficial.

6.5. Evaluación de la red monitora

En concordancia con los trabajos antecedentes se ha validado la frecuencia de muestreo estacional, siendo representativa de las variaciones climáticas y de la dinámica productiva a lo largo del año. Los parámetros físicoquímicos definidos a muestrear han presentado, en los estudios expuestos, sensibilidad en relación a posibles afectaciones sobre los recursos hídricos subterráneos y superficiales.

Con la metodología utilizada para la selección de perforaciones se logró una distribución geográfica de los sitios de muestreo balanceada entre los tres sectores geomorfológicos definidos, y homogéneamente distribuidos dentro de cada uno de ellos. Se resalta la necesidad de un censo preliminar de perforaciones que incluya la mayor cantidad de sitios posibles de muestreo para luego poder seleccionar los más convenientes teniendo en cuenta los criterios definidos.

Se establecieron relaciones entre concentraciones elevadas de nitratos, cloruros y conductividad eléctrica con efluentes de tambos, concentración de ganado y efluentes domiciliarios.

El diseño de la red monitora, con la cantidad y ubicación de los sitios de muestreo de agua subterránea y superficial, permitió realizar cada campaña estacional en el lapso de una semana con el fin de que los parámetros medidos no sufran variaciones importantes durante la misma.

La entrevista, la observación directa y la consulta informal a actores clave resultaron ser una técnica útil y rica para la caracterización del medio socioeconómico.

La entrevista resultó sirvió para detectar conflictos por diferentes usos de suelo, problemáticas vinculadas a los recursos hídricos subterráneos, dinámicas de los mismos que no podrían haber sido relevadas por metodologías cuantitativas. Pero que sientan las bases para luego si poder utilizar herramientas cuantitativas como la encuesta.

Las metodologías utilizadas en el presente estudio pueden ser de utilidad para establecer redes de monitoreo de los recursos hídricos, principalmente en cuencas del faldeo Norte del sistema de Tandilia, con similitudes geomorfológicas, climáticas y de usos de suelo.

Por otra parte, uno de los entrevistados mostró interés en desinfectar la perforación de su campo (la cuál presentaba valores microbiológicos por fuera de la normativa) a partir de la presente investigación. El resto de los productores no reconocieron que la presente investigación les haya motivado a realizar algún cambio en lo referido al uso del agua. Esto podría deberse a que el presente estudio no fue motivado por una inquietud particular de la población sino que surgió de necesidades a escala regional. Tuvo como uno de sus principales aportes la identificación de problemáticas particulares de la población sobre las que se considera necesario seguir ahondando en futuras investigaciones, como por ejemplo: endicamientos y canalizaciones clandestinas, dragado del arroyo, inundaciones, uso de plaguicidas y fertilizantes, uso de agua para riego.

6.6. Propiedades emergentes del sistema

Las propiedades emergentes detectadas en el sistema (Desarrollo del conflicto usos de suelo, Desarrollo del conflicto por agroquímicos, Evolución de la calidad del recurso hídrico en función de las prácticas agropecuarias asociadas, Desarrollo de la problemática por inundaciones) implican un desafío para la gestión ambiental que tiene como principal objetivo trabajar con la población en estudio para encontrar soluciones que surjan de los diferentes actores involucrados y que generen acciones que busquen satisfacer las necesidades de los mismos. Estas acciones influirán sobre el sistema a partir de su relación con los diferentes elementos del mismo y generarán nuevas propiedades emergentes, o modificarán las características de las ya existentes.



BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2000). *Nutrient criteria technical guidance manual. River and streams*. Washington DC.: Office of water.
- Amuchástegui, G., di Franco, L., & Feijoó, C. (2015). Catchment morphometric characteristics, land use and water chemistry in Pampean streams: a regional approach. *Hydrobiología*, 65-79. doi:10.1007/107
- Ander Egg, E. (1995). *Técnicas de investigación social* (24 ed.). Buenos Aires, Argentina: Editorial Lumen.
- Anderson, D., Sweeney, D., & Willians, T. (2008). Muestreo y distribuciones muestrales. En *Estadística para administración y economía* (10° Edición ed., págs. 257-299). México D.F.: Cengage Learning.
- Andrade Pérez, A., & Navarrete Le Blas, F. (2004). *Lineamientos para la aplicación del enfoque sistémico a la Gestión Integral del Rscurso Hídrico*. Ciudad de Mexico: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Añeli, P. (27 de mayo de 2002). *Tierra Viva. Agencia de Noticias*. Obtenido de Tandil: muchas fumigaciones y pocas recetas agronómicas: <https://agenciaterraviva.com.ar/tandil-muchas-fumigaciones-y-pocas-recetas>
- APHA. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (12° ed.). Washington, D.C., Estados Unidos: American Public Health Association.
- Appelo, C., & Postma, D. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Amsterdam, Países Bajos: A.A. Balkema.
- Arasteh, S., & Shoaie, S. (2020). An assesment of the effects of excessive groundwater abstraction on the quality of groundwater resources of the Zanajn Plain, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 120-134.
- Azhar, S., Aris, A., Yusoff, M., Ramli, F., & Juahir, H. (2015). Classification of river water quality using multivariate analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 79-84.
- Baily, A., Rock, L., Watson, C., & Fenton, O. (2011). Spatial and temporal variations in groundwater nitrate at an intensive dairy farm in south-east Ireland: Insights from stable isotope data. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 308-318.

- Banda Noriega, R., Ruiz de Galarreta, A., Barranquero, R., Saraceno, D., Irastorza, M., Cifuentes, M., . . . Tabera, A. (2018). Evaluación de agroquímicos en arroyos y agua subterránea del partido de Tandil considerando características hidrogeológicas y uso del suelo. *Química, calidad y contaminación del agua* (págs. 103-110). Salta: Universidad Nacional de Salta.
- Barranquero, R. (2015). *Análisis y evaluación del sistema hidrogeológico ambiental en la cuenca del arroyo Langueyú*. Tandil, Buenos Aires: Universidad Nacional de Córdoba. Tesis de doctorado.
- Barranquero, R., Saraceno, D., Galecio, M., Cisneros Basualdo, N., Quiroga, M., Landa, R., . . . Banda Noriega, R. (2019). Prácticas agropecuarias y efectos ambientales en el recurso hídrico subterráneo en el partido de Tandil. *Revista de Ciencias Ambientales*, 5-32.
- Barranquero, R., Varni, M., Ruiz de Galarreta, A., & Banda Noriega, R. (2012). Aporte de la hidroquímica al modelo conceptual del sistema hídrico subterráneo. Tandil, argentina. *GEOACTA*, 37(2), 130-146.
- Barranquero, R., Varni, M., Ruiz de Galarreta, A., Quiroga, M., & Landa, R. (2013). Assesment of the hydrochemical characteristics of the langueyú creek basin applying multivariate statistical analysis. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 100, 9-24.
- Bauer, D., Danadelli, T., Gómez, N., Licursi, M., Ocón, L., Paggi, A., . . . Tangorra, M. (2002). Ecological status of the Pampean plain streams and rivers (Argentina). *Verhandlungen Internationale Vereinigung fur Therrestiche und Angewandte Limnologie*, 28, 259-262.
- Benítez, A. (1972). *Captación de Aguas Subterráneas*. Madrid, España: Dossat.
- Bericat, E. (1998). *La integración de los métodos cuantitativo y cualitativo en la investigación social: significado y medida*. Barcelona, España: Editorial Ariel.
- Bhatt, S., & Ahmed, S. (2014). Morphometric analysis to determine floods in the Upper Krishna basin isng Cartosad DEM. *Geocarto international*, 29(8), 878-894. doi:10.1080/10106049.2013.868042

- Bidaure, A., Barranquero, R., & Cortelezzi, A. (2016). Diagnóstico ambiental del uso recreativo del arroyo Chapaleofú en la localidad de Rauch: pautas de gestión sustentable. *Estudios Ambientales*, 4(2), 46-49.
- Binkley, D., Ice, G., Kaye, J., & Williams, A. (2004). Nitrogen and phosphorus concentration in forest streams of the United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 40, 1277-1291.
- Bodrud-Doza, Z., Hossain Bhuiyan, M., Didar-Ul Islam, S., Safiur Rahman, M., H., M., Fatema, K., . . . Rahman, A. (2018). Hydrogeochemical investigation of groundwater in Dhaka City of Bangladesh using GIS and multivariate statistical techniques. *Groundwater for sustainable development*, 226-244. doi:10.1016/008
- Bogetti, L. (2015). *Diagnóstico ambiental de la cuenca superior del arroyo Langueyú*. Tandil: Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental. Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos aires.
- Burow, K., Nolan, B., Rupert, M., & Dubrovsky, N. (2010). Nitrate in groundwater of the United States, 1991-2003. *Environmental Science Technology*, 44, 4988-4997.
- Canziani, G., Aparicio, V., Cortelezzi, A., De Gerónimo, E., Fontanarrosa, M., Tisnés, A., . . . Schimpf. (2020). *Informe sobre agroquímicos plaguicidas en Escuelas Rurales del Partido de Tandil*. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Cap-Net, Global Water Partnership, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2005). *Integrated water resources plans training manual and operational guide*. Ontario: Global Water Partnership.
- Castany, G. (1975). *Prospección y explotación de las aguas subterráneas*. Barcelona: Editorial Omega.
- Cellone, L., Santucci, G., Borzi, C., Tanjal, C., Di Lello, L., Butler, J., . . . Carol, F. (2023). Impact of dairy farms on groundwater quality in a productive basin in the northeast of the Pampean Plain, Argentina. *Groundwater for Sustainable Development*, 102-125.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales*. Santa Fé de Bogota, Colombia: Mc Graw-Hill.

- Cifuentes, M. (2020). *Estudio Ecohidrológico del embalse eutrófico Lago del Fuerte (Tandil, Provincia de Buenos Aires)*. . La Plata: Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Tesis de doctorado.
- Cisneros Basualdo, N., Miguel, R., Ruiz de Galarreta, A., & Banda Noriega, R. (2016). Hidrodinámica e hidroquímica de agua subterránea en áreas sometidas a diferentes usos agropecuarios. *Acta de congreso IV Jornadas Interdisciplinarias Ciclo del Agua en Agroecosistemas* (pág. 23). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Consejo de Europa. (1968). *Carta Europea del Agua*. Estrasburgo.
- Corbetta, P. (2007). *Metodología y Técnicas de la Investigación Social*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Cortelezzi, A. (2012). *Determinación del estado ecológico de los sistemas lóticos del partido de Tandil*. Tandil: Manuscrito no publicado.
- Cortelezzi, A., Barranquero, R., Marinelli, C., Fernández San Juan, M., & Cepeda, R. (2019). Environmental diagnosis of an urban basin from a social-ecological perspective. *Science of the Total Environment*, 267-277.
- Custodio, E., & Llamas, M. (1983). *Hidrología Subterránea* (Segunda ed.). Barcelona, España: Omega.
- Custodio, E., Manzano, E., & Montes, C. (2008). Perspectiva general del papel y gestión de las aguas subterráneas en el área de Doñana. *Boletín geológico y minero*, 119(1), 81-92.
- Dingman, S. (2002). *Physical Hydrology*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (2002). *Evolución de políticas hídricas de América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: CEPAL.
- En Gardey denuncian aplicación sin control de agroquímicos en campo lindero al pueblo. (23 de septiembre de 2020). *La voz de Tandil*.
- Evaluación de Ecosistemas del milenio. (2005). *Ecosistemas y Bienestar Humano: Informe de Síntesis*. Washington DC: World Resource Institute.

- Falasca, S., Ulberich, A., & Bernabé, M. (2002). Características diagnósticas de los suelos de Tandil, Provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista Geográfica*, 95-116.
- Farhan, Y., Anbar, A., N, A.-S., & Mousa, R. (2017). Priorization of semi arid agricultural watershed using morphometric and principal component analysis remote sensing and GIS techniques, the Zerga River Watershed, Northern Jordan. *Agricultural Sciences*, 113-148.
- Feijóo, C., & Lombardo, R. (2007). Baseline water quality and macrophyte assemblages in Pampean streams: a regional approach. *Water Research*, 1399-1410.
- Feijóo, C., & Lombardo, R. (2007). Baseline water quality and macrophyte assemblages in Pampean streams: a regional approach. *Water Research*, 1399-1410.
- Feijóo, C., Giorgi, A., García, M., & Momo, F. (1999). Temporal and spatial variability in stream of a pampean basin. *Hydrobiologia*, 394, 41-52.
- Feijóo, C., Hegoburu, C., Messetta, M. L., Guerra-López, J., Rigacci, L., Anselmo, J., . . . Marcé, R. (2023). Acidification and increase of phosphorus levels in Pampean streams after 12 years of agricultural intensification. *Aquatic Sciences*, 99-113.
- Fernández, R. (2000). *la Ciudad Verde. Teoría de la Gestión Ambiental Urbana*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Espacio.
- Fetter, C. (1999). *Contaminant Hydrogeology*. Skokie, Estados Unidos: Solr Books.
- Fetter, C. (2001). *Applied Hydrogeology*. Upper Saddle River, Estados Unidos: Prentice Hall.
- Fitzgerald, D., Kiely, D., Neilson, D., Shaw, R., Audetta, S., Prior, R., . . . Allison, E. (1997). Alberta farmstead water quality survey. En C. A. Agreement, *Agricultural Impacts on water quality in Alberta* (págs. 565-588). Alberta.
- Foster, S., & Hirata, R. (1991). *Determinación del riesgo de contaminación de agua subterráneas*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Freeze, A., & Cherry, J. (1979). *Agua Subterránea*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

- Frenguelli, J. (1956). *Rasgos generales de la hidrografía de la Provincia de Buenos Aires*. Buenos Aires: Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica.
- Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea. (2009). *Hidrogeología*. Barcelona, España: Artes Gráficas Torres.
- Gabellone, N., Claps, M., Solari, L., & Neschuk, N. (2005). Nutrients, conductivity and plankton in a landscapes approach to a Pampean saline lowland river (Salado River, Argentina). *Biogeochemistry*, 75, 455-477.
- Galloín, G. (2003). Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. *CEPAL. Serie Medio Ambiente y Desarrollo*, 64.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- Gardey bajo el agua. (24 de marzo de 2022). *eldiariodetandil.com*. Obtenido de <https://eldiariodetandil.com/2022/03/24/gardey-bajo-el-agua>
- Gaspari. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Argentina. *AUGMDOMUS*, 4, 143-158.
- Giannuzzo, A. (2010). Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental. *Scientiae zudia*, 129-156.
- Gizachew, K., & Berhan, G. (2018). Hydro-geomorphological characterization of Dhidhessa River Basin, Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 175-183.
- Global Water Partnership. (2000). *Integrated Water Resources Management*. Estocolmo: Global Water partnership.
- Global Water partnership, Red internacional de Organismos de Cuencas. (2009). *Manual para la gestión integrada de Recursos Hídricos en Cuencas*. Londres: Global Water Partnership.
- González, N. (2005). Los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires. *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino* (págs. 359-374). La Plata: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias naturales y Museo.

- Goss, M., Barry, D., & Rudolph, D. (1998). Contamination in Ontario farmstead domestic wells and its association with agriculture. *Journal of Contamination Hydrology*, 32, 267-293.
- Guerrero, E., De Keizer, O., & Córdoba, R. (2006). *La Aplicación del Enfoque Ecosistémico en la Gestión de los Recursos Hídricos*. Quito, Ecuador: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
- Gutema, D., Kassa, T., & Sifan, A. (2017). Morphometric analysis to identify erosion prone areas on the upper blue Nile using GIS: case study of Didessa and Jema sub-basin, Ethiopia. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 150-157.
- Gutiérrez, R. (2010). *Modelo para armar: gestión del agua en la provincia de Buenos Aires*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Hem, J. (1989). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. Virginia, Estados Unidos: United States Geological Survey.
- Henaos, J. (1988). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Bogota, Colombia: Universidad Santo Tomás, Centro de enseñanza desescolarizada.
- Holden, L., Graham, J., Alexander, W., Pratt, R., & Liddle, L. (1992). Results of the national alachlor well water survey. *Environmental Science Technology*, 935-943.
- Horton. (1932). Drainage-Basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union*, 13, 350-361.
- Horton, R. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 56, 275-370.
- Ibarlucía, D., Carmona, F., Mancino, C., Bayala, M., Degano, F., Rivas, R., . . . Ramallo, A. (2017). *Red de monitoreo de eventos hidrológicos en la vertiente sur del Río Salado, Provincia de Buenos Aires*. Azul: Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.
- ICWE. (1992). Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente. *El desarrollo en la perspectiva del Siglo XXI*. Dublin.

- INTA. (1989). *Mapa de suelos de la Provincia de Buenos Aires: escala 1:500.000*. Buenos Aires: Secretaría de agricultura ganadería y pesca.
- INTA. (1990). *Atlas de Suelos de la República Argentina: escala 1:500.000 y 1:1.000.000*. Buenos Aires: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Jacinto, G. (2011). Asentamientos de Rango Menor (ARM) en Tandil: Transformaciones territoriales a partir de la renovación de los vínculos urbano-rurales. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía.*, 103-124.
- Jin, Z., Zhu, C., Wang, Y., Cen, J., & Li, F. (2018). Contribution of nitrate sources in surface water in multiple land use areas by combining isotopes and a Bayesian isotope mixing model. *Applied Geochemistry*, 93, 10-19.
- Jouravlev, A. (2003). *Los municipios y la gestión de los recursos hídricos*. Santiago de Chile, Chile: Comisión Económica para Latinoamérica y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas.
- Khan, S., Roser, D., Davies, C., Peters, G., Stuetz, R., Tucker, R., & Ashbolt, N. (2008). Chemical contaminants in feedlotwastes: concentrations, effects and attenuation. Review article. *Environmental International*, 34, 839-859.
- Khare, D., Mondal, A., Mishra, P., Kundu, S., & Meena, P. (2014). Morphometric analysis for prioritization using remote sensing and GIS techniques in a Hilly catchment in the state of Uttarakhand, India. *Indian Journal of Science and Technology*, 1650-1662.
- Kirpich, Z. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Journal of Civil Engineering*, 10, 362.
- Krueger, R., & Casey, M. (2009). *Focus groups: A practical guide for applied research* (3° ed.). Thousand Oaks: Sage.
- Kyte, E., Cey, E., Hrapovic, L., & Hao, X. (2023). Nitrate in shallow groundwater after more than four decades of manure application. *Journal of Contaminant Hydrology*, 32-48.
- La Manna, A., Malcuorio, E., Casanova, O., de Torres, E., Marzaroli, J., Vasallo, C., & y Zorrillas, D. (2011). Determinación de los parámetros a ser usados en una matriz de riesgo geográfica predial para clasificar potenciales de contaminación de los tambos. *Seminario Sustentabilidad ambiental de los sistemas lecheros en un*

- contexto económico de cambios* (págs. 8-12). Montevideo: Instituto Nacional de Investigación agropecuaria.
- Leonoff, D. (23 de noviembre de 2022). *Canal abierto*. Obtenido de <https://canalabierto.com.ar/2022/11/23/tandil-otra-localidad-con-agrotoxicos-en-el-agua-de-red/>
- Llamas, J. (1993). *Hidrología general: principios y aplicaciones*. Bilbao, España: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- López Cádenas de Llano, F. (1998). *Restauración Hidrológica Forestal de Cuencas y Control de la Erosión*. Madrid, España: Mundi-prensa.
- Magdaleno, A., Paz, M., Mantovano, J., de Cabo, L., Bollani, S., Chagas, C., . . . Moretton, J. (2018). Evaluación del impacto de las actividades rurales en la calidad del agua de la microcuenca del arroyo Burgos (San Pedro, Provincia de Buenos Aires). *Revista Museo de Ciencias Naturales*, 239-250.
- Maidana, A. (5 de julio de 2020). *Conclusion. Libertad con responsabilidad*. Obtenido de En Tandil las escuelas rurales deben convivir con 16 tipos de agroquímicos: <https://www.conclusion.com.ar/info-general/en-tandil-las-escuelas-rurales-deben-convivir-con-16-tipos-de-agroquimicos/07/2020/>
- Margalef, R. (1983). *Limnología General*. Barcelona, España: Edición Omega S.A.
- Margalef, R. (1997). *Our Biosphere*. Oldendorf, Alemania: Excellence in Ecology Series.
- Marisol Cifuentes, N. E. (2018). Caracterización morfométrica de las cuencas de aporte del arroyo del fuerte, Tandil. *II Jornadas Internacionales y IV Nacionales de Ambiente. Resúmenes extendidos* (págs. 137-140). Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN).
- Martinez, D., Moschione, E., Bocanegra, E. G., & Aravena, R. (2014). Distribution and origin of nitrate in groundwater in an urban and suburban aquifer in Mar del Plata, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 1877-1886.
- Masoud, A., Meswara, E., El Bouraie, M., & Kamh, S. (2018). Monitoring and assesment of the groundwater quality in Wadi Al-Arish downstream área, North Sinai (Egypt). *Journal of African Earth Sciences*, 225-240.

- Mazzuchelli, M. (2016). *Diagnóstico físico químico y microbiológico del agua superficial del área serrana del arroyo Napaleofú, Tandil, Provincia de Buenos Aires*. La Plata: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Tesis de Maestría.
- Miller, V. (1953). *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia Tennessee*. Columbia: Office of Naval Research, Geography Branch.
- Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos. (2010). *Resumen estadísticos lecheros de Buenos Aires*. La Plata: Provincia de Buenos Aires.
- Mitchell, V. (2006). Applying integrated urban water management concepts: A review of Australian experience. *Environmental Management*, 589-605. doi:10.1007/s00267-004-0252-1
- Morra's, H. (1993). *Fósforo total y materiales parentales de la región central de la República Argentina*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Navarrete, J. (2011). Problemas centrales del análisis de datos cualitativos. *Revista Latinoamericana de investigación social*, 47-60.
- Neal, C., Jarvie, H., Neal, M., Hill, L., & Heather, W. (2006). Nitrate concentrations in river waters of the upper Thames and its tributaries. *Science of the Total Environment*, 15-32.
- Oettinger, C. (2007). *Metodología de diseño de una red de monitoreo de recursos hídricos para humedales: aplicación en la Laguna de Batuco*. Santiago de Chile: Facultad de Ciencias Físicas y matemáticas. Departamento de ingeniería Civil. Universidad de Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero civil.
- Organización Mundial de la salud. (2006). *Guía para la calidad el agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1. Recomendaciones*. Ginebra: Ediciones de la OMS.
- Patton, P. (1998). Drainage basin morphometry and floods. En V. Baker, C. Kochel, & P. Patton, *Flood geomorphology* (págs. 51-65). New York: John Wiley y Sons.
- Pessolano, B. (2010). *Diagnóstico preliminar del recurso hídrico subterráneo y su relación con las actividades agropecuarias en la cuenca del arroyo Chapaleofú*

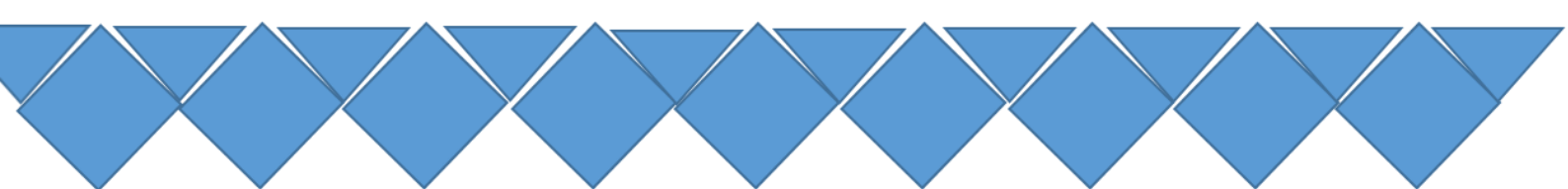
- Chico, Tandil, Buenos Aires, Argentina*. Tandil: Facultad de Ciencias Humanas. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Tesis de Licenciatura.
- Pessolano, B., Ruiz de Galarreta, A., Varni, M., Barranquero, R., & Larsen, A. (2012). Análisis geohidrológico de la cuenca del A° Chapaleofú Chico (Tandil) y su relación con las prácticas agropecuarias. . *1° Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos* (págs. 49-66). Ezeiza: Instituto Nacional del Agua.
- Real Academia Española. (2022). *Diccionario de la lengua española* (23 ed.).
- Reyes Gomez, V., Gutiérrez, M., Nájera Haro, B., Nuñez Lopez, D., & Alarcón Herrera, M. T. (2017). Groudwater quality impacted by land use/land cover change in a semiarid region of Mexico. *Groundwater for Sustainable Development*(5), 160-167.
- Rezaeia, A., Hassania, H., Hassani, S., Jabbaric, N., Fard Mousavid, S., & Rezaeie, S. (2019). Evaluation of groundwater quality and heavy metal pollution indices en Bazman basin, southeaten Irán. *Groundwater for sustainable development, IX*, 1-2.
- Rodriguez, C., Díaz, A., Jacinto, G., Tabera, A., Pessolano, B., & Ruiz de Galarreta, A. (2013). Evaluación del agua subterránea y transformaciones territoriales en María Ignacia-Vela, Tandil (Buenos Aires, Argentina). *Actas del VIII Congreso Argentino de Hidrogeología* (págs. 306-313). La Plata: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Rodríguez, C., Gaspari, F., Ruiz de Galarreta, A., Kruse, E., Quiroga, M., & Landa, R. (2016). Caracterización hidrológica de la cuenca alta del arroyo Napaleofú. *I Jornadas Internacionales y III Nacionales de Ambiente. Resúmenes extendidos* (págs. 162-164). Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Rodríguez, C., Miguel, R., André, M., García, M., Ruiz de Galarreta, A., & Banda Noriega, R. (2011). Análisis del agua subterránea en la localidad de Gardey (Tandil, Buenos Aires). *Calidad y contaminación del agua subterránea. Actas del*

- VII Congreso Argentino de Hidrogeología* (págs. 132-139). Salta: Asociación integral de hidrogeólogos.
- Rosso, J., & Fernández Cirelli, A. (2013). Effects of land use on environmental condition an macrophyte in prairie lotic ecosystems. *Limnologica*, 43, 18-26.
- Ruiz de Galarreta, A. (2004). *Evaluación del riesgo de contaminación hídrica en el partido de Tandil*. Tandil: Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.
- Ruiz de Galarreta, A. (2006). *Geohidrología y balance hidrológico de la zona no saturada en la cuenca superior del arroyo Tandileofú, provincia de Buenos Aires*. La Plata: Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Tesis doctoral.
- Ruiz de Galarreta, A., & Banda Noriega, R. (2005). Geohidrología y evaluación de nitratos en el partido de Tandil, Buenos Aires, Argentina. *IV Congreso Argentino de Hidrogeología* (págs. 99-108). Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Ruiz de Galarreta, A., & Rodriguez, C. (2013). *Conceptos básicos de hidrología. Resolución del balance hidrológico*. Tandil, Argentina: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Ruiz de Galarreta, A., Barranquero, R., Varni, M., & Rodríguez, C. (2011). Geología e hidrolitología de la cuenca del Arroyo Langueyú, Provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 43, 157-176.
- Ruiz de Galarreta, A., Varni, M., Banda Noriega, R., & Barranquero, R. (2007). Caracterización geohidrológica preliminar en la cuenca del arroyo Langueyú, Partido de Tandil, Buenos Aires. *Actas del V COngreso Argentino de Hidrogeología* (págs. 119-128). Paraná: Asociación Internacional de Hidrogeólogos.
- Saraceno, D., Barranquero, R., Ruiz de Galarreta, A., Banda Noriega, R., Quiroga, M., & Irastorza, M. (2014). Análisis de la calidad del agua subterránea en el partido de Tandil en relación a las prácticas agropecuarias. *Memorias del II Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras* (págs. 65-75). Santa Fé: UNiversidad Nacional del Litoral.

- Sarkar, D., Mondal, P., Sutradhar, S., & Sarkar, P. (2020). Morphometric Analysis Using SRTM-DEM and GIS of Nagar River basin. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 597-614.
- Sauer, T., Daniel, T., Moore, P., Coffey, K., Nichols, D., & West, C. (1999). Poultry litter and grazing animal waste effects on runoff water quality. *Journal Environmental Quality*, 860-865.
- Scarpati, O., & Capriolo, A. (2013). Sequías e inundaciones en la provincia de Buenos Aires (Argentina) y su distribución espacio-temporal. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, Universidad Nacional de Mexico*, 43, 38-51.
- Scipione, N. (6 de diciembre de 2021). *Tierra Viva. Agencia de noticias*. Obtenido de Tandil permitió el uso de agrotóxicos a solo 60 metros de las viviendas y a 150 metros de las escuelas: <https://agenciatierraviva.com.ar/tandil-permitio-el-uso-de-agrotoxicos-a-solo-60-metros-de-las-viviendas-y-a-150-metros-de-las-escuelas/>
- Senisterra, G., Gaspari, F., & Delgado, M. (2015). Zonificación de la vulnerabilidad ambiental en una cuenca serrana rural. *Revista Estudios Ambientales*, 3(1), 35-58.
- Singh, P., Gupta, A., & Singh, M. (2014). Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. *Egypt Journal Remote Sensing Space Science*, 111-121.
- Singhal, A., Gupta, R., Singh, A., & Shrinivas, A. (2020). Assesment and monitoring of groundwater quality in semi-arid region. *Groundwater for Sustainable Development*, 102-123.
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil taxonomy: A basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, Natural Resources Conservation Services*. Washington: United States Department of Agriculture Handbook.
- Strahler, A. (1964). Quantitive geomorphology of drainage basins and channel networks. En V. Chow, *Handbooks of Applied Hydrology* (págs. 439-476). New York: McGraw-Hill Book .

- Sutradhar, S., & Mondal, P. (2023). Priorization of watersheds based on morphometric assesment in relation to flood management: A case study of Ajay river basin, Eastern India. *Watershed Ecology and the Environment*, 5, 1-11.
- Thornthwaite, C., & Mather, J. (1957). *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. New York: Laboratory of Climatology.
- Tian, X., Zhao, G., Mu, X., Zhang, P., Gao, P., & Sun, W. (2019). Hydrologic alteration and possible inderlying causes in the Wuding River, China. *Science of the Total Environment.*, 693, 51-60. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.07.362
- Tirkey, P., Bhattacharya, T., Chakraborty, S., & Baraik, S. (2017). Assesment of grounwater Quality and Asociated Health Risks: A case study of Ranchi city, Jharkhand, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 85-100.
- Tomer, M., & Burkart, M. (2003). Long-term effects of nitrogen fertilizer use on groundwater nitrate in two small watersheds. *Journal Environmental Quality*, 32, 2158-2171.
- Usunoff, E., & Varni, M. (1995). *Hidrología de los sectores alto y medio de la cuenca del arroyo Azul*. Azul: Instituto de Hidrología de Llanuras.
- Uusi-Kämppe, J., Jauhiainen, L., & Huuskonen, A. (2007). Phosphorous an nitrogen losses to surface waters from a forested feedlot for bulls in Finland. *Soil use and management*, 23(1), 82-91.
- Vera-Candiotti, J., Araujo, P., Huerga, I., Rojas, D., Cristos, D., & Malmantile, A. (2021). Pesticides detected in surface and groundwater from agroecosystems in the Pampas region of Argentina: occurrence and ecological risk assesment. *Environmental Monitoring assessment*, 193-689.
- Viglizzo, E. (2007). Desafios y oprtunidades de la expansión agrícola en Argentina. En M. Ortiz, *Producción Agropecuaria y Medio Ambiente* (págs. 12-42). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre, INTA.
- Viglizzo, E. (2008). Agricultura, clima y ambiente en Argentina: Tendencias, interacciones e impactos. En O. Solbrig, *Agro y ambiente: una agenda compartida para el desarrollo sustentable* (págs. 183-208). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Fundación Vida Silvestre, INTA.

- Viglizzo, E., & Jobbágy, E. (2010). *Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Viglizzo, E., Pordomingo, A., Castro, M., & Lértora, F. (2003). Environmental assesment of agricultura at a regional scale in the Pampas of Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, 87, 169-195.
- Vilches, C. (2005). *Comparación del metabolismo en productores del arroyo Las Flores*. Tesis de Grado. Luján, Argentina: Universidad Nacional de Luján.
- Wassenaar, L., Hendry, M., & Harrington, N. (2006). Decadal geochemical and isotopic trends for nitrate in a transboundary aquifer and implications for agricultural beneficial management practices. *Environmental Sciences Technology*, 40, 4626-4632.
- Winker, M., Scharamm, E., Schulz, O., Zimmermann, M., & Liehr, S. (2016). Integrated water research and how it can help address the challenges faced by Germany's water sector. *Environmental Earth Science*, 75-92.
- Withanage, S., Dayawansa, K., & De Silva, P. (2014). Morphometric analysis of the Gal Ova River Basin using spatial data derived from GIS. *Tropical Agricultural Research*, 175-188.
- Zhang, X., Zhang, Y., Shi, P., Bi, Z., Shan, Z., & Ren, L. (2021). The deep challenge of nitrate pollution in river water of China. *Science of the Total Environment*, 770, 91-109.
- Zulaica, L. (2008). Sistemas ambientales de la cuenca superior del arroyo Langueyú (partido de tandil, Argentina). *Investigaciones geográficas*(45), 251-269.



Anexo 1

Guía de entrevistas

Entrevista productores rurales

Preguntas de base

- 1- Decime tu nombre
- 2- ¿Oficio, profesión?
- 3- ¿Hace cuánto vivís/trabajas acá?
- 4- Coméntame cuáles son tus actividades acá
- 5- ¿Trabajaste en otro lugar antes, relacionado al campo?

Usos de suelo

- 6-Coméntame que se hace en el campo
- 7-¿Cuántas hectáreas para cada actividad?

Uso agrícola

- 8- ¿Qué cultivos hay actualmente? ¿Y en el resto del año?
- 9- ¿Utilizan riego para algún cultivo?
 - 9-a. ¿En qué época del año?
- 10-¿Utilizan fertilizantes?
 - 10-a. ¿En qué épocas del año se realizan aplicaciones?
- 11-¿Utilizan plaguicidas?
 - 11-a. ¿En qué épocas del año?
- 12-¿Quién trae los fertilizantes?
- 13-¿Vienen a granel?
- 14-¿Quién trae los plaguicidas?
- 15-¿Trabajan con receta agronómica?
- 16-¿Quién te hace la receta, las tenés guardadas?
- 17- ¿En base a qué definen la cantidad y momentos de fertilizantes y plaguicidas a aplicar?
- 18-¿Qué se hace con los envases de fertilizantes y plaguicidas?
¿Qué cantidad generan? ¿Cada cuánto se sacan, triple lavado? ¿Cuál es el Centro de acopio más cercano? ¿A cuánto queda?
- 19- Aplican productos de control de plagas en algún otro lugar que no sea el cultivo?
- 20- Tienen una huerta aparte para ustedes? Le aplican agroquímicos? Ven diferencias en los productos?
- 21- Con relación a los últimos años la cantidad de agroquímicos aplicados va en aumento o disminución?

22-En uno de los lugares donde hice entrevistas me dijo, una señora que venia mucha menos cantidad de caracoles y bichos en general, Ven menos bichos que antes en el campo?

Uso ganadero

23-¿Cuántos animales tiene en total en el campo?

24-¿Para qué son? ¿Cría, engorde, reproducción?

25- ¿Varía a lo largo del año?

26-¿De dónde sale el agua que consumen los animales?

27-¿Han tenido algún problema vinculado al consumo de agua en los animales?

28-¿Es ganadería extensiva o intensiva?

29-Cuántas hectáreas son para estos animales

30-Alimento de los animales se produce aca?

Perforaciones

31-¿Y el agua de donde la sacas?

32-Para vos, ¿Es la mejor ubicación de esos pozos? ¿Por qué? Te queda cómodo?

33-¿Sabes cómo se definió la ubicación del pozo? ¿Rabdomantes?

34-¿Te dan la cantidad de agua que necesitas?

35-¿Tuviste algún problema, algún pozo se secó?¿en qué época? ¿Sabes porque?

36-¿Tenes idea cuando y quien los construyó? ¿Cómo los construyeron?
¿Tenes los planos? ¿Alguien los puede tener?

37-¿Sabes qué cantidad de agua se usa?

38-¿Para qué se usa el agua de a la perforación?

39-¿La perforación se encuentra encamisada?

40-¿Sabes cuales son los beneficios de que esté encamisada?

41-¿Tenes idea de la antigüedad de la perforación?

42-¿Sabes la profundidad de la perforación?

43-¿Dónde se almacena el agua de la perforación?

44-¿Alguna vez tuvieron que hacer desinfección del pozo? ¿Por qué?
¿Salió agua sucia?

44-a. ¿Con qué frecuencia? ¿Cómo?

45-¿Realizan desinfección del tanque?

45-a. ¿Con qué frecuencia?

45-b. ¿Cómo?

46-¿Almacenan y utiliza agua de lluvia?

46-a. ¿Qué uso le da al agua de lluvia almacenada?

47-¿Tienen calendario de lluvias? ¿Llevan el registro?

Las preguntas 48 a 64 son solo para aquellos sitios en los que la perforación está en una casa o en la escuela

48-¿Consumen agua de la perforación?

48-a. ¿Se descompusieron alguna vez por el agua? Diarrea por ejemplo

48-b. ¿Fueron al médico? ¿Qué les dijo?

49-¿Notan mucha cantidad de sarro en la pava?

50-¿Realizan desinfección del tanque de almacenamiento? PREGUNTA REPETIDA PARA CHEQUEAR

50-a. ¿Con qué frecuencia?

50-b. ¿Cómo?

51-¿Realiza algún tipo de análisis del agua?

51-a. ¿Sabe qué tipo de análisis?

Le comento que el análisis se hace en bromatología y la forma de extraer la muestra.

51-b. ¿Qué resultados han obtenido?

52-¿Han consumido en algún momento agua envasada?

52-a. ¿Por qué?

53-¿Has sacado agua con mugre? ¿Del pozo o del tanque?

54-¿A dónde va el agua del/los inodoro/s?

55-¿Sabe si el pozo ciego tiene cámara séptica?

56-¿Quién la hizo? ¿hace cuánto está hecha? ¿Sabes cómo es?

57-¿Han tenido que desagotar el pozo ciego/cámara séptica? 57-a.
¿Con qué frecuencia?

58-¿A qué distancia aproximada se encuentra la perforación del o los pozos ciegos (incluye el de vecinos)?

59-¿Cuál es la ubicación del pozo ciego con respecto a la perforación, están en una zona más alta (aguas arriba) o más baja (aguas abajo)?
Vamos a mirarlo.

60-¿Hay pozos ciegos que dejaron de utilizarse? ¿Cuántos?

60-a. ¿A qué distancia de la perforación se encuentra?

60-b. ¿Cuál es la ubicación con respecto a la perforación? ¿Está más alto o más bajo?

61-¿Sabes por qué tiene que estar lejos el pozo ciego del pozo agua?

62- ¿A dónde se destinan las aguas de la ducha y cocina (aguas grises?

General

- 63-¿Tenes o tuviste algún problema relacionado con el agua?
- 64-¿Hay alguna cuestión que te gustaría mejorar o que sea diferente?
- 65-¿Se te inundó alguna parte del campo? ¿En qué época?
- 66-Más allá de tu campo, ¿Los vecinos tienen problemas de inundación?
- 67-¿Tienen problemas de sequía?
- 68-Tienen más o menos vecinos que en el pasado?

Gestión estatal:

- 69-Siendo que todos los vecinos usan el agua del mismo acuífero quien creer que deberían ser los encargados de cuidar el recurso?
- 70-Quien cree que debería ser responsables de cuidar el recurso?
- 71-Como cree que deberían ser el control, para que no sea molesto para ustedes?
- 72-Además de mi persona, alguien alguna vez, ¿vino a decirte algo del agua de la perforación?
- 66-a. ¿Quién?

Arroyo

- 73- ¿Sabe que hay un arroyo en esta zona?
- 70-a. ¿Sabe el nombre del arroyo?
- 74-¿Lo usan? ¿van al arroyo?
- 75- ¿Se bañan en el arroyo? ¿Por qué no se baña en el arroyo?
- 76-¿Ve que hay gente que se baña en el arroyo?
- 77-¿Qué otros usos ve que hace la gente en el arroyo?
- 78-¿Va en verano al balneario de Vela u otro?
- 79-¿Sabe si alguna vez alguien se quejó en el balneario de la calidad del agua?
- 80-¿Le parece que hay otros usos que podría tener el arroyo y que actualmente no se hacen por su estado (calidad del agua, aspecto,
- 81-¿Sabías que este mismo arroyo llega a la ciudad de Rauch y allí hay un balneario?
- 82-¿Alguna vez supo de alguien que haga análisis de agua en el arroyo?
- 83-¿Se enteró de los resultados?
- 80-a. ¿Cómo fueron?
- 84-¿Además de mi persona, alguien vino alguna vez a decirte algo del arroyo?
- 85-¿Quien?

86-¿Sabían que según la última ordenanza en el partido de Tandil no se puede aplicar agroquímicos a 50m del arroyo?

87-Sabían de la ordenanza que prohíbe aplicar agroquímicos a 150 mts de las escuelas?

Devolución: Te voy a hacer algunas preguntas que son para evaluar si la forma en que fui comunicándome con uds fue útil y que cosas tengo que mejorar en cuanto a la comunicación, principalmente de los resultados.

88-Te acordás alguno de los valores que te dí?

89-Los resultados que te di motivaron hacer alguna actividad de otra manera?

90-Les surgió alguna inquietud en cuanto al agua?

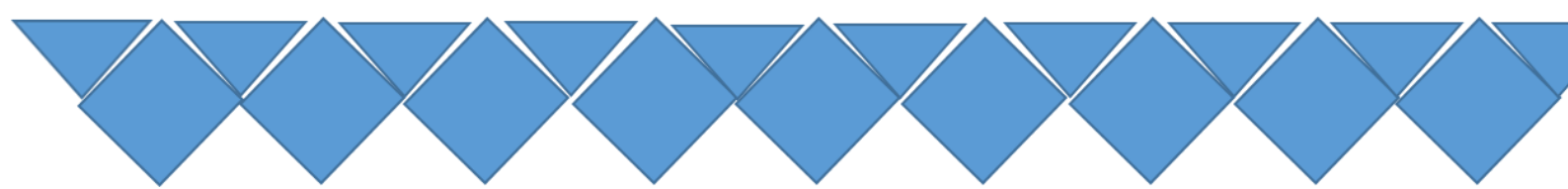
91-¿El informe que les di les pareció útil? ¿Largo? ¿Corto?

92-¿Lo guardaron o lo tiraron?

93-Les interesa que se siga haciendo en caso de continuar el proyecto?

94-Les interesarían que se midan otros parámetro? Microbiológico?
Agroquímicos?

95-Participarían en reuniones vecinales para tratar tema del agua?



Anexo 2

Datos fisicoquímicos de agua subterránea y superficial

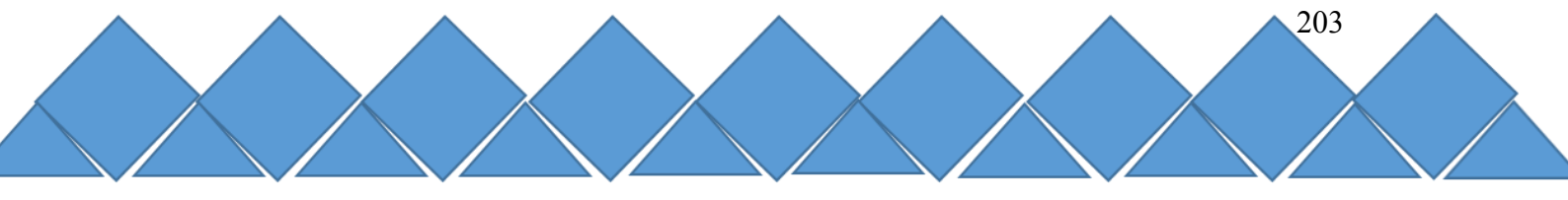


Tabla 28. Datos fisicoquímicos subterráneos (censo preliminar)

Sitio	Ca	Mg	Na	K	Dureza	Cloruro	Nitrato	Sulfato	Bicarbonato	CE	pH
1	104	56	26	82	486	96	54	15	695	957	7,2
2	75	28	29	9	302	26	35	8	488	683	7,1
3	74	10	26	37	225	62	10	14	342	510	7,3
4	56	16	71	37	207	70	45	13	464	736	7,5
5	84	43	34	37	383	54	23	17	537	735	7,6
6	57	16	79	28	208	38	34	16	500	646	7,7
7	63	21	24	17	242	46	18	17	451	600	7,6
8	31	9	34	22	113	42	12	18	305	428	7,9
9	74	26	33	0	291	22	65	18	476	686	7,7
10	133	12	26	4	380	36	46	13	537	785	7,6
11	82	8	8	5	240	24	13	22	403	516	7,8
12	84	21	24	7	298	43	38	26	610	771	7,6
13	100	45	16	10	431	68	106	44	525	923	7,7
14	58	20	112	21	228	48	70	26	464	707	7,7
15	63	35	48	7	301	52	31	22	598	835	7,8
16	71	22	86	9	269	32	127	24	439	679	7,8
17	87	38	48	2	371	58	70	30	561	782	7,9
18	185	39	83	16	621	142	246	144	647	1543	7,4
19	78	13	51	0	248	28	27	27	427	504	7,8
20	85	30	66	8	336	16	51	22	561	691	7,9
21	55	32	156	15	267	56	23	27	634	834	8,0
22	69	25	89	11	274	40	45	24	586	755	7,7
23	40	25	101	8	201	40	25	30	512	659	7,9
24	27	18	268	19	139	48	33	76	781	1063	8,0
25	18	9	225	9	83	58	26	35	476	968	8,2
26	28	15	248	9	130	106	25	40	610	986	8,0
27	53	33	238	14	267	80	11	146	756	1150	8,0
28	23	15	200	12	120	56	10	123	720	1052	8,3
29	33	16	186	10	147	56	66	35	525	870	8,2
30	114	57	118	14	516	110	91	34	683	1109	7,6
31	48	9	163	10	156	36	25	25	610	772	8,0
32	55	11	113	8	181	26	30	23	610	663	8,0

Tabla 29. Datos fisicoquímicos de agua subterránea (Diciembre 2020)

Sitio	Ca	Mg	Na	K	Dureza	Cloruro	Nitrato	Sulfato	Bicarbonato	CE	pH
1	38	50	26	27	297	34	77	13	647	1106	7,6
2	47	35	29	20	259	26	63	8	634	744	8,0
3	44	16	26	19	173	33	29	6	464	552	7,7
4	29	37	71	25	224	48	67	8	610	817	7,8
5	29	39	34	25	233	36	49	13	683	783	7,7
6	23	21	79	21	144	28	47	9	610	695	7,9
7	37	20	24	36	175	30	47	9	634	656	7,6
8	21	12	34	32	104	36	34	7	342	442	8,1
9	54	13	26	8	190	38	87	13	586	727	7,8
10	39	26	8	10	202	26	26	7	525	825	7,6
11	38	27	26	11	204	28	67	12	464	530	7,7
13	29	15	112	15	131	34	78	14	647	702	7,6
14	14	34	48	15	175	52	63	19	659	720	7,8
15	32	24	48	12	179	40	73	16	549	883	7,8
17	41	10	51	8	144	38	65	11	598	760	7,6
19	38	35	66	7	239	28	72	8	610	604	7,4
20	31	10	156	28	121	66	38	11	659	763	7,8
21	25	23	89	20	155	36	71	16	610	896	7,5
22	20	39	101	23	211	34	51	11	634	970	7,6
23	23	11	268	26	100	62	43	37	866	746	7,9
24	10	13	225	23	79	72	49	25	756	1085	8,0
25	14	9	248	23	70	78	22	23	866	1028	8,1
26	23	25	238	27	161	88	20	76	781	1235	7,8
27	27	32	200	31	199	82	26	50	525	1173	7,7
28	20	15	186	23	111	78	85	19	793	955	8,0
29	13	9	226	9	67	34	53	16	652	985	7,9
31	23	18	163	23	133	46	37	9	634	800	7,8
32	31	25	113	22	177	38	56	10	610	727	8,0

Tabla 30. Datos fisicoquímicos agua subterránea (marzo de 2021)

Sitio	Ca	Mg	Na	K	Dureza	Cloruro	Nitrato	Sulfato	Bicarbonato	Conductividad	pH
1	83	74	43	21	513	36	55	15	671	940	7,3
2	72	23	41	17	276	24	50	9	512	716	7,8
3	90	18	77	27	299	26	17	11	427	563	7,5
4	52	26	71	15	237	46	54	9	512	794	7,7
5	78	43	42	19	373	34	43	29	610	808	7,6
6	43	19	76	20	184	32	40	10	476	679	7,9
7	70	29	23	20	293	24	39	10	500	664	7,7
8	37	13	19	10	146	28	18	10	342	387	8,0
9	50	17	30	11	194	40	84	12	576	720	7,8
10	129	17	19	6	392	28	65	21	695	808	7,3
11	75	13	13	8	240	26	23	14	439	538	7,6
13	72	37	26	12	331	20	43	13	610	720	7,5
14	54	11	54	11	179	22	79	15	476	712	7,9
15	63	40	47	17	323	48	40	15	708	834	7,4
17	82	33	21	14	341	30	68	19	732	785	7,7
19	80	16	16	8	264	30	39	14	476	562	7,8
20	76	29	20	17	310	16	55	12	610	731	7,9
21	50	27	84	25	236	48	28	16	817	924	7,3
22	72	31	47	18	305	38	60	20	695	811	7,3
23	42	23	59	17	202	22	32	15	744	735	7,8
24	14	14	175	24	92	50	28	52	854	1060	8,3
25	16	12	168	17	90	66	44	30	793	1021	8,4
26	24	16	457	13	124	56	19	32	927	1158	7,9
27	48	36	157	22	268	72	13	103	915	1172	8,0
28	77	34	419	20	332	58	19	94	964	930	7,9
29	41	17	240	9	171	56	75	26	610	1012	8,2
31	48	24	195	10	220	34	28	15	622	757	7,9
32	69	31	182	7	297	22	34	13	622	723	7,6

Tabla 31. Datos fisicoquímicos de agua subterránea (Junio 2021)

Sitio	Ca	Mg	Na	K	Dureza	Cloruro	Nitrato	Sulfato	Bicarbonato	CE	pH
1	116	43	50	31	405	14	52	14	769	950	7,07
2	124	31	89	21	435	14	38	10	659	654	7,28
3	123	13	184	14	358	14	14	8	439	520	7,64
4	94	21	82	10	322	20	44	5	610	697	7,58
5	115	34	86	20	426	16	31	11	854	713	7,58
6	69	16	81	12	238	14	32	6	537	600	8,08
7	116	24	61	16	387	12	32	7	512	553	7,71
8	52	14	55	21	187	10	15	6	317	361	8,08
9	54	19	26	14	174	43	63	11	580	700	8
10	197	14	136	8	548	16	59	16	781	723	7,17
11	144	12	23	5	407	6	21	10	610	525	7,96
13	126	36	37	6	462	10	40	14	756	742	7,31
14	84	18	54	7	283	12	56	18	598	660	7,08
15	88	38	46	8	376	26	32	13	732	758	7,36
17	142	29	39	6	474	12	66	11	598	705	7,03
19	99	10	34	3	289	18	25	12	464	485	7,77
20					0						
21	75	21	82	13	273	30	46	23	793	800	7,14
22	97	29	52	11	360	24	28	29	842	780	7,4
23	47	19	72	10	195	12	22	14	610	620	7,72
24	12	12	162	13	77	28	23	4	976	950	7,95
25	9	8	158	10	55	40	27	37	793	928	8,04
26	55	14	194	14	194	52	15	28	842	907	7,79
27	38	29	89	13	216	54	12	94	561	1090	7,98
28	47	28	140	17	231	52	14	67	964	1000	7,73
29	73	15	137	12	244	38	59	26	659	825	7,8
31	100	21	91	12	335	18	26	15	732	674	7,92
32	118	28	77	12	409	6	35	13	781	636	7,79

Tabla 32. Datos fisicoquímicos de agua subterránea (septiembre 2021)

Sitio	Ca	Mg	Na	K	Dureza	Cloruro	Nitrato	Sulfato	Bicarbonato	CE	pH
1	144	36	126	31	455	18	47	19	842	890	7
2	131	19	171	21	404	10	40	12	744	630	6,7
3	117	11	386	14	334	10	9	9	476	430	6,9
4	97	16	204	10	307	26	52	10	647	630	7,6
5	99	16	150	20	315	12	26	19	610	540	7,1
6	74	11	144	12	229	14	38	12	622	540	7,3
7	114	13	139	16	339	12	38	12	549	510	7,4
8	53	6	132	21	156	14	18	11	378	360	7,5
9											
10	170	6	409	8	449	24	60	19	769	640	7,4
11	141	5	61	5	374	10	20	0	488	470	6,5
13	121	11	95	6	346	10	29	18	610	550	7,4
14	87	7	132	7	243	20	59	18	537	510	6,9
15	97	13	133	8	293	24	33	19	732	690	6,8
17	131	10	85	6	370	16	57	19	573	570	6,8
19	124	4	73	3	327	22	45	20	403	460	6,8
20	108	10	98		312	10	49	10	622	540	7
21	82	10	187	13	244	36	26	17	805	750	7,4
22	106	28	177	11	377	22	54	21	634	670	6,9
23	61	21	198	10	239	10	30	14	683	540	7,2
24	23	13	542	13	108	36	26	80	781	820	7,1
25	17	10	384	10	82	50	32	35	744	750	7,3
26	32	10	380	14	121	52	23	43	720	890	8,1
27	63	28	436	13	273	60	7	162	1098	880	7,3
28	81	25	395	17	308	46	12	109	854	950	7,7
29	63	17	330	12	228	36	18	44	939	750	7,2
31	62	19	190	12	233	28	30	20	769	570	7,4
32	78	25	198	12	298	16	42	21	683	560	7,1

Tabla 33. Datos fisicoquímicos del agua superficial (Censo preliminar)

Sitio	Carbo nato	Bicar bonato	CE	pH	T	OD	Ca	Mg	Na	K	Clo ruro	Nitra to	Sulfa to	Caudal m ³ /seg
1	0	476	612	7,9	19	72	90	20	2	26	36	20	9	0,0156
2	75	384	603	8,2	20	142	95	29	5	4	56	24	8	0,0123
3	0	525	634	8,0	21	85	197	21	31	15	40	15	10	0,0345
4	0	537	788	8,1	20	75	52	26	75	14	40	28	14	0,0856
5	0	451	597	7,7	21	78	82	6	109	24	28	30	6	0,0624
6	95	390	691	8,3	18	81	58	27	41	9	32	25	13	0,1457
7	0	561	735	8,0	18	94	49	23	62	9	46	24	13	0,4605
8	180	659	714	8,2	21	79	54	26	79	4	36	22	11	0,8212
9	150	671	682	8,2	21	83	54	27	55	5	30	21	11	1,0876
10	80	659	703	8,3	19	65	52	24	54	6	40	19	13	2,0522
11	170	683	698	8,3	19	75	43	22	57	6	34	16	12	2,3324
12	160	500	704	8,5	19	75	40	23	75	12	28	17	13	2,5512

Tabla 34. Datos fisicoquímicos del agua superficial (diciembre 2020)

Sitio	Carbo natos	Bicarbo natos	CE	pH	T°	Ca	Mg	Na	K	Clor uro	Nitra to	Sulfa tos	Caudal (m ³ /seg)
A1	210	525	722	8,02	15,2	49	31	6	7	30	29	9	0,0521
A4	170	354	807	7,9	17,2	26	24	69	7	44	27	12	0,456
A6	0	476	743	8,06	20,3	25	34	44	9	33	29	13	0,4334
A7	170	329	738	8,3	19,4	29	28	65	9	43	26	13	1,4013
A8	80	378	802	8,04	18,8	35	34	81	9	36	31	11	1,4731
A9	0	464	746	8,12	17,5	28	26	62	11	46	24	13	2,1418
A10	130	415	770	8,35	18,2	30	28	63	12	38	27	12	3,6421
A12	130	732	753	8,29	19,8	31	28	78	11	40	24	14	4,1112

Sitio	Carbo natos	Bicarb onato	CE	pH	T°	Ca	Mg	Na	K	Cloru ro	Nitra to	Sul fato	Caudal (m ³ /seg)
A1		439	608	8	14,2	65	31	12	4	28	18	7	0,039
A4		744	750	8,25	15,8	48	24	19	5	40	70	12	0,174
A6		586	710	8,03	15,5	57	34	119	13	38	40	13	0,2846
A7	110	634	711	8,01	16,9	50	28	99	9	46	24	11	0,8604
A8	120	500	694	7,64	16,3	55	34	85	9	30	27	10	1,2877
A9	130	451	689	8	15,9	38	26	67	9	34	40	12	1,4875
A10		634	701	7,41	16,4	50	28	143	9	48	32	10	2,4549
A12	90	512	735	8,42	23,1	47	28	88	11	42	22	16	2,9524

Sitio	Carbon atos	Bicarbon ato	CE	pH	T°	Ca	Mg	Na	K	Cloru ro	Nitr ato	Sulfat o	Caudal (m ³ /seg)
A1		708	617	7,87	10	140	23	60	2	14	22	11	0,1478
A4	90	476	723	7,95	10,9	113	22	106	4	24	24	14	0,5955
A6	0	622	690	7,78	7,4	117	28	91	4	20	25	13	1,0179
A7	110	561	682	7,7	8,2	110	24	82	3	18	20	15	1,2552
A8	80	634	685	8,22	13,6	109	29	64	4	18	25	11	1,4316
A9	90	610	680	8,1	12,8	111	25	82	3	18	21	13	1,6647
A10	0	622	681	8,19	12,3	106	26	95	4	16	23	10	3,1728
A12	250	549	715	8,08	12,4	106	25	174	3	22	22	13	3,4392

Tabla 35. Datos fisicoquímicos de agua superficial (marzo 2021)

Tabla 36. Datos fisicoquímicos de agua superficial (junio 2021)

Sitio	Carbonatos	Bicarbonatos	CE	pH	T°	Ca	Mg	Na	K	Cloruros	Nitratos	Sulfatos	Caudal (m ³ /seg)
A1		549	490	7,6	12,3	137	20,9	347	3	10	20	10	0,5655
A4		695	610	7,3	13,6	103	21,8	229	5	28	19	22	1,2406
A6		671	590	7,3	15,2	117	24,3	193	4	20	23	16	1,5847
A7	80	512	610	7,6	16,8	118	16,3	186	3	18	23	16	2,3524
A8	120	537	610	7,6	14,5	119	20,8	168	4	20	25	15	2,6274
A9		671	580	7,6	14,2	113	18,0	188	3	20	21	12	2,8433
A10		561	630	7,7	14,3	116	18,5	224	4	20	20	18	5,4725
A12		415	580	7,8	18	99	18,0	284	4	18	18	15	6,3512

Tabla 37. Datos fisicoquímicos de agua subterránea (septiembre de 2021)