

Efectos del engorde a corral sobre la concentración de nitratos en el agua freática en el Partido de Saladillo.

Tesis de Maestría presentada por
Pablo Zarragoicochea
ante la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad
Nacional de La Plata para optar al Grado Académico de
MAGÍSTER EN ECOHIDROLOGÍA

Director de Tesis: Sainato, Claudia M.

Co-directores de Tesis: Losinno, Beatriz N y Porta, Andrés

La Plata, 9 de Noviembre de 2018

Resumen

En Saladillo, Pcia de Buenos Aires, se realizó un estudio de los efectos que produce un emprendimiento de engorde a corral (feedlot) sobre el agua freática, bajo suelos Hapludoles característicos de la zona. Se realizaron mapas equipotenciales de nivel freático por estación, entre invierno de 2015 y otoño de 2016. Por prospección geoelectrica se determinó un gradiente de conductividad eléctrica que sigue la dirección de flujo de la freática, aumentando en el tiempo, aguas abajo de los corrales. Se realizaron análisis de concentraciones de nitratos, fósforo, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, pH, y oxígeno disuelto, y también bacteriológicos en muestras obtenidas del agua subterránea. Si bien la concentración de nitratos no supera los límites establecidos de 45 ppm, por el CAA para agua potable, los análisis bacteriológicos la caracterizan como no potable, con presencia de *Pseudomonas* y *E. coli* por lo que podría significar un riesgo de salud, tanto para humanos como para el ganado. El fósforo presenta concentraciones elevadas respecto al valor que establece la EPA como límite superior de 0.1 ppm, con el objetivo de disminuir la eutrofización de aguas superficiales. En los pozos de la zona de descarga del agua, los valores de concentraciones de fósforo superan ampliamente el límite máximo recomendado. Este comportamiento lo tuvo también el agua superficial del bajo lindante a los corrales, donde fluye el agua por escorrentía. Los mapas realizados por el método de kriging, señalan una estacionalidad de los aportes de iones, de manera desfasada con la cantidad de animales manejados en los corrales. Por lo que se infiere que tipo de suelo, con un Bt nátrico, actuaría como amortiguador de dichos aportes, siendo la ZNS un reservorio de iones, demostrado, por la prospección geoelectrica.

Summary

In Saladillo, Province of Buenos Aires, a study was made of the effects produced by a feedlot farm (feedlot) on groundwater under Hapludoles soils characteristic of the area. Equipotential maps of water table by season were made, between winter of 2015 and autumn of 2016 and by geoelectric prospecting, a gradient of electrical conductivity was determined that follows the direction of flow of the phreatic aquifer, increasing downstream of the pens. Analysis of concentrations of Nitrates, Phosphorus, Electric Conductivity, Dissolved Total Solids, pH, and Dissolved Oxygen were made, as well as bacteriological analysis in samples obtained from groundwater. Although the concentration of Nitrates does not exceed the established limits of 45 ppm, by the CAA for drinking water, the bacteriological analysis is characterize it as non-potable, with the presence of *Pseudomonas* and *E. coli*, which could mean a health risk, both for humans as for cattle. The Phosphorus presents high concentrations with respect to the value established by the EPA as an upper limit of 0.1 ppm, with the aim of reducing the eutrophication of surface waters. In the wells of the water discharge area, the Phosphorus concentration values greatly exceed the maximum recommended limit. This behavior also had the surface water of the lower zones adjoining the pens, where the water flows by runoff. The maps made by the kriging method indicate a seasonality of the ion contributions, in a way that is out of temporal phase with the number of animals handled in the pens. Therefore, it is inferred that this type of soil, with a natric Bt, would act as a buffer for said contributions, being the Non saturated zone (ZNS) an ion reservoir, demonstrated, by geoelectric prospecting.

Agradecimientos

El esfuerzo de esta tesis está dedicado a mi familia, que me acompañó constantemente, a la familia Magnelli, vecina del lugar y luchadora por los derechos a vivir en un ambiente en condiciones dignas. Y por último a mis padres, que fueron testigos del trabajo que esto requería, pero ninguno de los dos, pudieron verlo concretado. En donde quieran que estén, esta tesis está dedicada, en especial, a ustedes.

Agradecimientos: En primer lugar a Claudia Sainato, Beatriz Losinno y a Andrés Porta, por haber confiado en este proyecto y en mí, sin conocer mi trayectoria y sin ser parte inicial de su equipo.

A mi familia, Cecilia con el temple que la caracteriza y por ser compañera incondicional, y a Hernán, Agustín y Nicolás, mis pichones, que en muchas ocasiones trabajaron a la par mía y que, sin su ayuda, no hubiera podido llevar a cabo este proyecto.

A la familia Magnelli, que me facilitó no solo su ayuda personal, sino medios para movilizarme en el campo. Y a Roberto Tossisi, por permitirme trabajar en su propiedad.

A amigos y alumnos que también participaron de algunos viajes al campo y colaboraron en los trabajos iniciales o en la toma de muestras, y realizando análisis.

Al CFR, por facilitarme los datos de su estación meteorológica (EMA), en especial a Jesús Censi.

Al personal de la EEST N° 1 General Savio, directivos y docentes, que colaboraron, cediendo espacios y realizando análisis.

A la Secretaria de municipalidad de Saladillo, Sra Viviana Rodriguez y al ex director de Obras Sanitarias municipal Sr. Edgardo Monetti por la información brindada

A los integrantes del grupo ECOS, por ser parte inicial de este proyecto a partir de sus acciones.

ÍNDICE

Resumen	1
Índice General	5
Índice de Figuras	7
Índice de Tablas	9
1. Introducción	11
1.1 Antecedentes	11
1.2 Fundamentación de la elección del tema	14
1.3 Hipótesis	16
1.4 Objetivos	16
2. Materiales y métodos.	17
2.1 Antecedentes y caracterización de la zona de estudio	19
2.1.1 Ubicación geográfica. Sectorización	19
2.1.2. Sectorizaciónn hidrológica de la zona de estudio	20
2.1.3 Meteorología	22
2.1.4 Hidrogeología. Caracterización de los acuíferos	25
2.1.5 Hidrogeoquímica	26
2.1.6 Suelos	29
2.2. Relevamiento de la topografía y freatimetría	30
2.2.1. Relevamiento topográfico	30
2.2.2. Instalación de freatímetros	32
2.2.3. Determinación de niveles freáticos. Mapas de isopiezas o nivel freático	33
2.3. Prospección geoelectrica	34
2.4. Balance hidrológico	35
2.5. Determinación de la recarga del acuífero freático	36
2.6. Muestreo de agua	38
2.6.1 Análisis físico-químico agua freática	39
2.6.2 Análisis físico-químico agua superficial	40
2.6.3 Análisis microbiológico	40
2.7. Carga animal	41
2.8. Análisis de vulnerabilidad del acuífero libre	42

3. Resultados y Discusión.	43
3.1. Niveles topográficos y flujo superficial	43
3.2. Perforaciones y niveles piezométricos	44
3.3. Prospección geoeléctrica	48
3.4. Balance hidrológico	51
3.5. Recarga de la freática	54
3.6. Hidrogeoquímica y microbiología	59
3.6.1. Resultado de los análisis físico-químico agua freática	59
3.6.2. Resultados de los análisis físico-químico agua superficial	70
3.6.3. Resultados de los análisis microbiológicos	70
3.7. Carga animal	72
3.8. Determinación de la vulnerabilidad del acuífero libre	75
4. Discusión general	77
5. Conclusiones	81
6. Bibliografía	83
Anexos	89
Anexo I y II Tablas	
Anexo III. Imágenes	

Índice de Figuras	Página
Figura 1.1. Establecimientos de engorde a corral (feedlots) en el partido de Saladillo, al 2010. Mapa suministrado por el municipio de Saladillo, Marcado con un círculo el lugar de estudio.	15
Figura 2.1. Mapa de la Provincia de Buenos Aires, donde se remarca el Partido de Saladillo. Y diagrama de subcuencas de la Cuenca Deprimida del Salado. Extraída del Estudio de Riesgo Hídrico en el Partido de Saladillo Mapa de riesgo hídrico del partido de Saladillo CODESA-PNUD (1996). En rojo la cuenca Vallimanca-Saladillo y en azul la de Las Flores, cuyo límite oeste-norte coincide con la primera.	20
Figura 2.2. Sectores del Partido de Saladillo. Extraída del Mapa de riesgo hídrico del partido de Saladillo CODESA 1996.	21
Figura 2.3. Balance hídrico durante el periodo 1989-1993. Extraída del Mapa de riesgo hídrico del partido de Saladillo CODESA 1996.	23
Figura 2.4. Balance hídrico del periodo 1981-2010, según datos del SMN	24
Figura 2.5. Diagrama de Piper de análisis de pozos realizados en el subsector del canal 16. Extraído de Kruse et al., 2010.	27
Figura 2.6. Recorte de la carta de Suelo de INTA. 3560-28-2. En celeste se muestran los límites del área de estudio para el drenaje superficial. La letra "L" indica laguna.	29
Figura 2.7. Mapa del establecimiento en estudio. Ubicación de los diferentes puntos georreferenciados marcados con cruces y zonas de importancia para el estudio.	31
Figura 2.8. Ubicación de los freaímetros de monitoreo.	33
Figura 2.9. Localización de los sondeos geoelectricos (líneas rojas).	34
Figura 3.1. Mapa con curvas de niveles topográficos (msnm) superpuesto a la imagen satelital de la zona de estudio. Los círculos rojos con números indican la ubicación de los freaímetros	43
Figura 3.2. Niveles (msnm) y flujo del agua freática en invierno	46
Figura 3.3. Niveles (msnm) y flujo del agua freática en primavera	46
Figura 3.4. Niveles (msnm) y flujo del agua freática en verano	46
Figura 3.5. Niveles (msnm) y flujo del agua freática en otoño	46
Figura 3.6. Transecta que pasa por el pozo 8 (línea roja paralela al eje x) utilizada para analizar la variación de los niveles en cada estación superpuesta con el mapa de niveles topográficos.	47
Figura 3.7. Niveles freáticos (msnm) para las distintas estaciones a lo largo de la transecta (O-E).	47

Figura 3.8. Modelos de resistividad eléctrica en ohm*m en sondeos cercanos a los pozos. Las zonas en rojo son de alta CE. En los cuadros laterales, la CE es el valor obtenido del modelo en la ZNS, CE _s es la CE del suelo (medida en laboratorio), NF es el nivel freático medido en el pozo, y CE _{ag} la conductividad de la muestra de agua. Se indica el nivel freático con la línea continua y el triángulo	49
Figura 3.9. Climatograma de Saladillo	52
Figura 3.10. Balance hidrológico donde puede observarse el déficit de agua en los meses de diciembre y enero, del Periodo 2011-2015.	53
Figura 3.11. Variación de agua en el suelo donde muestra excesos en el periodo 2011-2015. Datos extraídos de EMA CFR	53
Figura 3.12. Imagen satelital del 4 de agosto 2016 con las subáreas delimitadas, con la cobertura de invierno.	55
Figura 3.13. Imagen satelital del 3 de enero del 2016, con la cobertura de verano	55
Figura 3.14. Concentración de nitratos, por pozo y estación	61
Figura 3.15. Gráfico de caja, donde se visualizan valores atípicos de concentración de nitratos.	61
Figura 3.16. Isolíneas de concentración de nitratos (ppm) en invierno	62
Figura 3.17. Isolíneas de concentración de nitratos (ppm) en primavera	62
Figura 3.18. Isolíneas de concentración de nitratos (ppm) en verano	62
Figura 3.19. Isolíneas de concentración de nitratos (ppm) en otoño	62
Figura 3.20. Concentración de fósforo por pozo y por estación	63
Figura 3.21. Gráfico de caja, donde se visualizan valores atípicos de concentración de fósforo	63
Figura 3.22. Isolíneas de concentración en ppm de fósforo en invierno	64
Figura 3.23. Isolíneas de concentración en ppm de fósforo en primavera	64
Figura 3.24. Isolíneas de concentración en ppm de fósforo en verano	64
Figura 3.25. Isolíneas de concentración en ppm de fósforo en otoño	64
Figura 3.26. Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$, por pozo y estación	65
Figura 3.27. Gráfico de caja, donde se visualiza valores atípicos de CE	65
Figura 3.28. CE en invierno	66
Figura 3.29. CE en primavera	66
Figura 3.30. CE en verano	66
Figura 3.31. CE en otoño	66
Figura 3.32. Oxígeno Disuelto en ppm, por pozo y estación.	67
Figura 3.33. Gráfico de caja, donde se observan valores atípicos de O disuelto	67
Figura 3.34. Oxígeno disuelto en invierno, en ppm.	68
Figura 3.35. Oxígeno disuelto en primavera, en ppm	68

Figura 3.36. Oxígeno disuelto en verano	68
Figura 3.37. Oxígeno disuelto en otoño	68
Figura 3.38. pH, por pozo y estación.	69
Figura 3.39. Gráfico de cajas de pH	69
Figura 3.40. Cantidad aproximada de animales, por categoría, que había antes de los muestreos	73
Figura 3.41. Cantidad aproximada de toneladas por categoría animal.	74
Anexo III. Imágenes	107
Figura III.a. Enfundado del caño con malla plástica.	
Figura III.b. Hoyadora utilizada para la perforación	
Figura III.c. Caño de PVC colocado en pozo	
Figura III.d. Sistema para evaluación de vulnerabilidad GOD	

Índice de Tablas	Página
Tabla 2.1. Balance hídrico mensual para el periodo 1989-1993. Estación Las Flores	22
Tabla 2.2. Balance hídrico periodo 1981-2010. Estación 9 de Julio	24
Tabla 2.3. Proceso de nitrificación.	28
Tabla 3.1. Profundidad del nivel freático, con los valores de máxima profundidad por estación y su nivel en msnm.	45
Tabla 3.2. Resistividad de la zona saturada, expresada en Ohm m	50
Tabla 3.3. Datos usados en el programa de aplicación de agrometeorología para el cálculo del balance hídrico 2011-2015.	51
Tabla 3.4. Resultados de los cálculos de Evapotranspiración por los modelos de Thornthwait.	52
Tabla 3.5. Balance hidrológico de Saladillo, periodo 2011-2015. Estación EMA CFR	52
Tabla 3.6. Datos para calcular la humedad previa del suelo con datos extraídos de la EMA- CFR	56
Tabla 3.7. Cálculo de precipitación efectiva, Pe, para cada estación del año	56
Tabla 3.8. Evapotranspiración potencial en días previos a la toma de muestras, en cada estación del año.	57
Tabla 3.9. Determinación de la humedad previa a la precipitación anterior a la toma de muestras.	57
Tabla 3.10. Recarga temporal, donde la 1º fecha es la precipitación más cercana	58

a la toma de muestra, y la 2º fecha es cuando se tomaron las muestras

Tabla 3.11. Valores de los parámetros tomados del agua superficial del bajo con agua permanente	70
Tabla 3.12. Análisis bacteriológico del agua.	71
Tabla 3.13. Movimiento de animales agrupados, en trimestres, de acuerdo con la fecha de toma de muestras de agua	73
Tabla 3.14. Cantidad aproximada de toneladas por categoría animal, a partir de una valoración promedio del kilaje de la categoría	74
Tabla 3.15. Puntaje asignado a cada variable del DRASTIC 6	76
Anexo I Tablas extraídas de otras fuentes	89
Tabla I.a. Rango y valores de los parámetros e Índices de ponderación del DRASTIC	
Tabla I.b. Índices de vulnerabilidad	
Tabla I.c. Grupos de suelo según NRCS.	
Tabla I.d. Números de Escorrentía o N° de curva (CN). Método NRSC	
Tabla I.e. Humedad previa, de acuerdo con la precipitación total en los 5 días anteriores, Extraído de Sánchez (2011)	
Tabla I.f. Conversión de P_0 según las condiciones de humedad. (Sánchez, 2011)	
Tabla I.g. Categorías de Bovinos	
Anexo II. Tablas con datos generados para este proyecto	95
Tabla II.a. Niveles topográficos de los puntos georreferenciados.	
Tabla II.b. Caracterización de los diferentes sectores del área de estudio, según NRCS, en grupos de suelo, de acuerdo con su cobertura, para obtener P_0 .	
Tabla II.c: CN convertido según condiciones de humedad previa	
Tabla II.d. Precipitación efectiva (P_0) por sector	
Tabla II.e. Concentraciones de nitratos y fósforo	
Tabla II.f. Conductividad eléctrica, en microSiemens/ cm. y sólidos totales disueltos (mg/l)	
Tabla II.g. Ph y oxígeno disuelto en ppm	
Tabla II.h. Movimientos de animales. Datos generados a partir de la información aportada por la oficina de guía municipal, del movimiento de animales de los cuatro clientes que más trabajan con la firma.	
Tabla II.i. Movimientos de animales, calculado de manera semejante que en el cuadro anterior, en este caso es por trimestre correspondiente a cada estación del año.	

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El engorde de ganado a corral (feedlot) es una actividad que ha adquirido desarrollo y expansión en los últimos años, al mismo tiempo que los suelos se han empleado para el cultivo de soja. Por otro lado, existe escasa reglamentación para este tipo de producción ganadera intensiva, a nivel Nacional y Provincial; sólo se destaca la del SENASA (Servicio Nacional de Sanidad -y Calidad- Agroalimentaria), con sus resoluciones (SENASA, 2001). Según este Organismo, los feedlots son todos aquellos:

1) Establecimientos de engorde de bovinos a corral, en los cuales durante el proceso de recría y/o terminación, tienen sus animales confinados en espacios reducidos, alimentan los mismos con productos formulados (balanceados, granos, núcleos minerales u otros productos) y no ofrecen el acceso a pastoreo directo y voluntario, y 2) Establecimientos que alimentan a los bovinos con productos formulados (balanceadores y núcleos minerales) en forma permanente o temporaria como suplemento dietario. Tal resolución no determina la superficie mínima por animal.

El partido de Saladillo, dada su red vial y su cercanía a los grandes frigoríficos regionales, da la posibilidad de asentar producciones de este tipo. Esta actividad ha originado algunos conflictos sociales entre vecinos de la localidad de Saladillo, dado que los feedlots se han establecido cerca de zonas habitadas, llevando a los ediles locales a realizar una ordenanza (HCD de Saladillo, 2008) que regula tales emprendimientos. Por otro lado, hay pocos antecedentes acerca del impacto que este tipo de actividad puede generar en el medio ambiente.

El Plan de Acción de Agua Limpia, (CWAP, USEPA, 2010), junto con otros estudios, reconoce que las AFOs (operaciones de alimentación animal) presentan varios riesgos a la calidad del agua y a la salud pública. Estos emprendimientos pueden contribuir con contaminantes al medio ambiente por medio de las aguas de desecho y del estiércol, tales como nutrientes, por ejemplo, nitrógeno y fósforo, materia orgánica, sedimentos, patógenos, metales pesados y antibióticos. (Departamento de agricultura de USA, 1999)

Algunos autores han investigado el efecto de la actividad de engorde a corral sobre el suelo y el agua superficial y subterránea. El informe de Turner (1999) sobre Ganadería Industrial y Medio Ambiente, indica los problemas graves originados sobre las aguas subterráneas por el aporte excesivo de nitratos y fosfatos, que superan, los niveles máximos exigidos por la ley. Las altas concentraciones de ambos iones, en cursos de agua superficiales permiten el desarrollo de cianobacterias potencialmente tóxicas (USEPA, 2009). Zhu *et al.* (2004) encontraron que el lixiviado de nitratos en corrales en suelos limosos, con actividad mayor a 20 años, puede llegar a profundidades mayores a 30 m en el suelo, mientras que el fósforo se mueve lentamente y sus concentraciones alcanzaron los 2500 mg.kg⁻¹ en los primeros 30 cm a lo largo de 60 años de actividad. En la zona de la Pampa Arenosa (Pcia de Bs. As.), Márquez Molina *et al* (2014.a y 2014b) detectaron altas concentraciones de nitratos y fósforo, en el suelo y en el agua subterránea en los alrededores de corrales de engorde.

Uno de los inconvenientes, con que se encuentran los productores, es el destino de la materia fecal del ganado, ya que se provoca un desbalance de nutrientes, sobre todo de nitrógeno y fósforo que se almacenan en el suelo, se pierden en las aguas superficiales o subterráneas o se transfieren a la atmósfera. Por lo cual se han realizado, en la UE y USA, trabajos concernientes a establecer prácticas de sustentabilidad de este sistema de producción, ya que la contaminación difusa de aire y agua, por el estiércol, está reconocida como un problema ambiental. Otros temas ambientales relacionados con el estiércol son: la contaminación bacteriana de aguas superficiales y subterráneas, el destino y los impactos ecológicos de elementos traza (como As, Cu, Zn), promotores de crecimiento en las heces, la disminución de la calidad del aire causadas por gases (como NH₃, NO_x, CH₄) o polvillo proveniente de las instalaciones ganaderas (Sims *et al*, 2005).

La Legislación Europea (Sims *et al* 2005), restringió la aplicación de nutrientes en el suelo a partir del estiércol a comienzos de los años 70, al mismo tiempo que USA en 1972 con la Acción del Agua Limpia (CWA). Estas regulaciones, que se intensifican en los años 80 y en los 90, tienen como meta realizar

manejos sustentables de los nutrientes. En la actualidad, la Unión Europea ha adoptado una medida directriz relacionada al manejo de los mismos, la Directiva nitrato, la cual encomienda, a todos los estados miembros, a designar Zonas Vulnerables de nitrato (NVZ). Ella establece, por ejemplo, que en este tipo de zonas no se pueden aportar más de $170 \text{ Kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ de Nitrógeno, sea por aplicación directa o por deposición de animales herbívoros (Sims et al, 2005). Así mismo, uno de los países que lleva años realizando este tipo de producción e investigación es USA donde los diferentes organismos estatales han trabajado en la regulación de estas actividades productivas (USDA-EPA, 1999) en respuesta a litigios de varias organizaciones. En especial, este tipo de actividades llamadas CAFO (Concentrated Animal Feeding Operations) poseen en ese país un plan de manejo de nutrientes, otorgando permisos de descargas de efluentes y contaminantes (NPDES). Estas regulaciones no se aplican en la Argentina, dado que no hay legislación al respecto (Comunicación personal con técnicos de la OPDS y el Ing Agr. Anibal Pordomingo, INTA Anguil).

Como ejemplo de evaluación del impacto que producen las excretas en cuanto a los nutrientes excedentes que aportan, se puede hacer un balance estimativo, con datos extraídos de Van Horn et al (1996).

Un animal (novillo) de 250 Kg que consume el equivalente a 6.28 Kg de MS/día (Materia seca/día) del pasto perdiz, (*Cynodon Dactylon*), el cual proporciona 941.7 g de proteína cruda, o 150.7 g de Nitrógeno, da un estimado de 124.6 g/d de proteína ganada o 19.9 g/d de N, por lo que 130.8 g/d de nitrógeno es eliminado con las excretas (Heces, orina, caspa). Respecto al Fósforo, la misma cantidad de MS/d aporta 17 g/d de P, por lo que se gana 11.8 g/d y se excreta 5.2 g/d. El P es uno de los elementos que el ganado recicla a través de la saliva.

Si se tiene en cuenta el balance de Nitrógeno, se visualiza que se excreta 7.6 veces más de lo que se gana, con el consumo de pasto perdiz. En cambio, respecto al fósforo, gana dos tercios y excreta un tercio de lo que consume. (Van Horn, 1996).

Aunque la cantidad de orina excretada por animal es difícil de calcular, se toma un promedio de $40 \text{ ml/kg.día}^{-1}$. Por lo tanto, un novillo del peso mencionado, puede excretar 10000 ml, lo que hace una concentración aproximada, de nitrógeno cercana a los 13080 ppm y de fósforo a los 520 ppm.

El balance de nutrientes, dado por la ingesta de alimentos y la excreta, es una de las maneras de minimizar el impacto de los excesos de nitrógeno y fósforo, en el ambiente. Esta estrategia es muy difícil de realizar, dada la variabilidad de las dietas y el costo de las materias primas para realizar las mismas. Así mismo, hay países que hace años vienen trabajando con el tema, como las directrices dadas por el Consejo Nacional de Investigaciones de USA (NRC), con sus Requerimientos Nutricionales para Ganado de engorde, en su séptima edición revisada, donde a partir de modelos matemáticos, realizan cálculos de los balances de nutrientes. Es decir, un manejo del balance de nutrientes permitiría minimizar el impacto ambiental sobre las aguas subterráneas, así como la contaminación atmosférica por los gases que se liberan y las consecuencias sobre la población cercana.

1.2. Fundamentación de la elección del tema

Los problemas ambientales antes mencionados, originaron, en el Partido de Saladillo, conflictos en la comunidad incluyendo demandas judiciales. Hay un último estudio pericial registrado donde se analizó la contaminación bacteriana de agua, y análisis de nitratos y nitritos en agua de pozos de uso para consumo humano cercanos a un establecimiento de engorde a corral (Estudios periciales, Q 87842, realizados por el Poder Judicial de la Provincia de Buenos Aires, el 25/11/05). Si bien, el registro de concentración de nitratos no supera los niveles máximos permitidos para el agua de consumo humano, hay complicaciones bacteriológicas, según el peritaje, de acuerdo con el Código Alimentario Argentino. El mismo constituye una evaluación puntual que en su momento dio una alerta sobre el impacto de la actividad sobre el medio ambiente, no se trata de un estudio científico. Por otro lado, se ha demostrado que el impacto en la zona saturada depende fuertemente de las características de la zona no saturada, de las condiciones climáticas del área y del manejo del establecimiento (dieta, manejo del estiércol, etc.) (Sainato et al., 2012, Márquez Molina et al., 2014, Márquez Molina et al.2015). Se han hecho varios trabajos de este tipo en otras zonas, pero éstas corresponden a situaciones edafoclimáticas diferentes a la de Saladillo. Estos estudios se enfocaron en los

iones contaminantes, pero no incluyeron estudios de contaminación bacteriológica. Por lo cual, se consideró en esta tesis profundizar sobre las consecuencias de la actividad, en un estudio de caso representativo del partido de Saladillo.

En la zona existían, hasta el 2010, un total de once feedlots con habilitación, en funcionamiento. El mapa de la Figura 1.1 muestra las actividades pecuarias del partido, en conjunto con los cursos de agua.

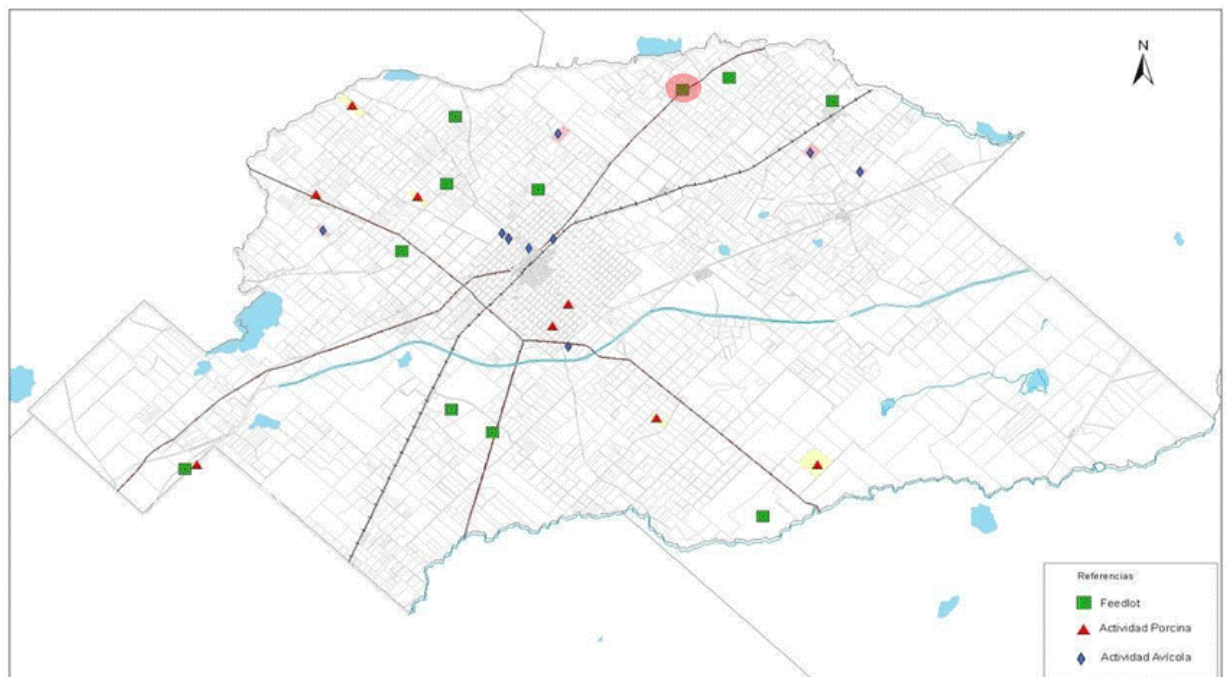


Figura 1.1 Establecimientos de engorde a corral (feedlots) en el partido de Saladillo, al 2010. Marcado con un círculo el lugar de estudio. Mapa suministrado por el municipio de Saladillo.

En esta zona, no se han encontrado trabajos vinculados con la potencial contaminación que estos establecimientos pudieran provocar en el suelo y en el agua subterránea. Más aún, tampoco se han encontrado estudios acerca de la vulnerabilidad del acuífero libre a este tipo de contaminación. Pordomingo (2003) establece algunos parámetros para la ubicación de estos emprendimientos, para reducir el impacto ambiental, pero que en muchos casos no se cumplen o no se han tenido en cuenta.

Dada la escasa información sobre el impacto de esta actividad en la zona se considera prioritario profundizar en los efectos de los mismos sobre la calidad de las aguas subterráneas, y su potencial incidencia sobre los cercanos cursos de agua superficiales. El agua freática, en muchas ocasiones, se emplea como suministro para la población rural y el ganado, ya que hay pozos conectados a molinos de viento que poseen una profundidad de entre 8 a 14 metros aproximadamente.

Los emprendimientos de engorde a corral han generado, además de recursos económicos y materia prima, problemas sociales y ambientales relacionados con la actividad de los feedlots. Sumado a ello se puede decir que hay cierto desconocimiento de las características de los acuíferos y el impacto que pueda tener la actividad en la zona, así como las medidas que se pueden tomar para mitigar sus efectos.

1.3. Hipótesis

Emprendimientos de engorde a corral aumentan la concentración de nitratos y fósforo en el agua freática, en un determinado sector, siguiendo la dirección de flujo, y que dicho aumento puede ser estacional, teniendo en cuenta, el balance hídrico.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Caracterizar el grado de concentración de nitratos y fósforo en agua freática de los alrededores de una producción intensiva a corral de ganado bovino, y evaluar su incidencia en el aporte de esos componentes.

1.4.2. Objetivos particulares:

- a- Determinar la dirección de flujo de agua, tanto superficial como subterráneo en el área de estudio.
- b- Determinar la concentración de nitratos y fósforo en diferentes estaciones durante un año, en el agua freática.

c- Caracterizar la misma por su pH, conductividad eléctrica y concentración de oxígeno disuelto.

d- Relacionar los valores hallados con la cantidad de animales y el clima para distintas estaciones del año.

c- Determinar la vulnerabilidad del acuífero freático por los métodos GOD y DRASTIC.

El análisis de los antecedentes hidrogeológicos de la zona de estudio, así como los datos de manejo del establecimiento de engorde a corral (cantidad de animales, dieta, etc) permitieron caracterizar las condiciones para las cuales se pueden sacar conclusiones a partir de este caso de estudio. Se conocieron algunas características del acuífero mediante estudios geofísicos que fueron complementadas con datos de perforaciones. La realización de un mapa equipotencial de nivel freático, permitió conocer cuál es la dirección del flujo del agua freática local; de esta forma se estableció hacia donde podrían desplazarse los contaminantes originados en los corrales de engorde. El análisis físico-químico y bacteriológico del agua subterránea permitió determinar su calidad para los distintos consumos y evaluar su estado actual respecto a los estudios previos. De esta forma se pretende cuantificar el efecto de la actividad sobre el agua subterránea y el impacto en los alrededores del establecimiento de estudio.

2. Materiales y métodos

Se realizó una recopilación de antecedentes de la zona donde se ubica el feedlot en estudio para su caracterización.

2.1. Antecedentes sobre la Caracterización de la zona de estudio

2.1.1. Ubicación.

El establecimiento bajo estudio se encuentra en el partido de Saladillo. Éste se encuentra aproximadamente en el centro de la Provincia de Buenos Aires ($35^{\circ} 28'$ a $35^{\circ}46'$ Lat Sur y $59^{\circ} 25'$ a $60^{\circ} 12'$ Long Oeste). Dista 180 Km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, por la ruta Nacional 205, y también es atravesado por la ruta Provincial 51 que recorre la provincia desde Ramallo a Bahía Blanca (Figura 2). El establecimiento feedlot en estudio se ubica a 20 km del casco urbano, en un área cercana al arroyo Saladillo. La Ruta Nacional 205 recorre su frente, y al costado de la misma se halla un canal que escurre agua hacia el arroyo antes mencionado. Saladillo es un partido con una marcada división territorial, lo que favorece este tipo de explotaciones. Medios de comunicación como Clarín Rural, denominaron a Saladillo como la Capital del Feed Lot (Persoglia, 2005)

Un estudio hidrológico regional fue realizado, en el marco del plan de desarrollo de la cuenca del Salado, por la CODESA-PNUD (1996) (Comisión de Desarrollo del Salado-Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). Según este estudio, el partido cuenta con una superficie aproximada de 2700 km², y se encuentra entre la subcuenca de los arroyos Vallimanca-Saladillo, (Figura 2.1.) cuya naciente está en Sierra de la Ventana y la subcuenca del arroyo Las Flores que nace en Olavarría. Ambas, integran la cuenca del Salado. El partido tiene cotas entre los 25 y 50 metros sobre el nivel del mar (msnm), mientras que el casco urbano está entre los 40 y 42.5 msnm.

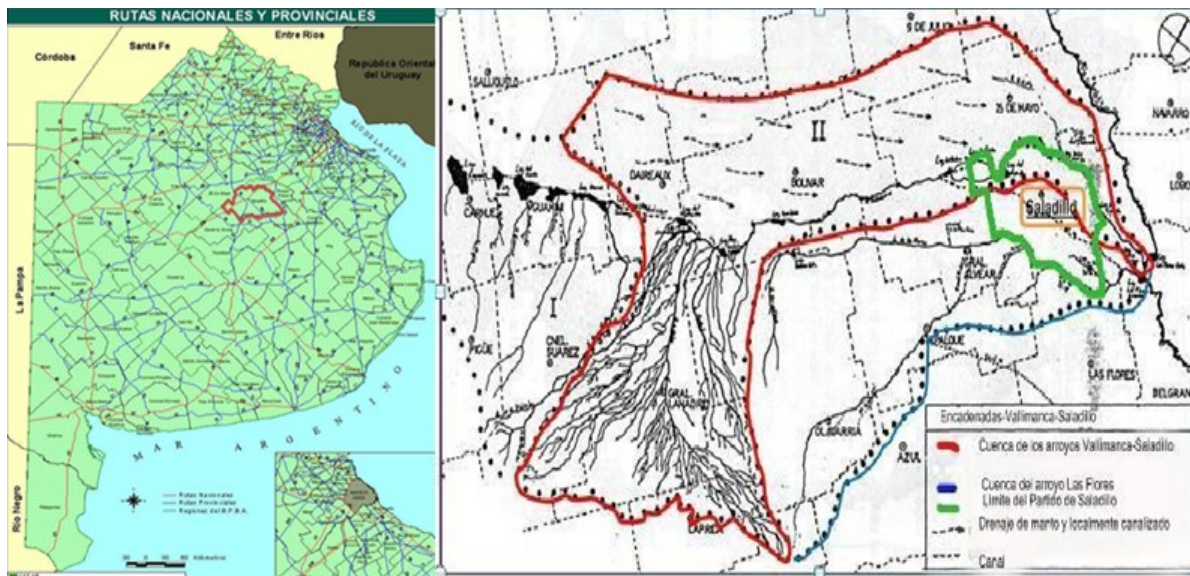


Figura 2.1. Mapa de la Provincia de Buenos Aires, donde se remarca el Partido de Saladillo. Y diagrama de subcuencas de la Cuenca Deprimida del Salado. Extraída del Estudio de Riesgo Hídrico en el Partido de Saladillo Mapa de riesgo hídrico del partido de Saladillo CODESA-PNUD (1996). En rojo la cuenca Vallimanca-Saladillo y en azul la de Las Flores, cuyo límite oeste-norte coincide con la primera. En verde marcado el partido de Saladillo.

2.1.2. Sectorización hidrológica de la zona de estudio.

Para una mejor comprensión y utilización de la información, se ha tenido en cuenta la delimitación de unidades territoriales realizadas por la CODESA (1996), las que se clasifican en sectores, de acuerdo con el microrelieve y su relación con la escorrentía del agua. (Figura 2.2.).

El emprendimiento en cuestión se encuentra en el sector Medanoso, subsector norte (CODESA, 1996), es el punto topográficamente más elevado del Partido y el que presenta mayor desarrollo de las unidades medanosas, el cual se caracteriza por la ausencia de un drenaje organizado y la presencia de cubetas de deflación de diferentes formas y tamaños. Incluye la principal divisoria de aguas de la región, entre las cuencas de los arroyos Vallimanca-Saladillo y de Las Flores, desarrollada a partir de cordones medanosos.

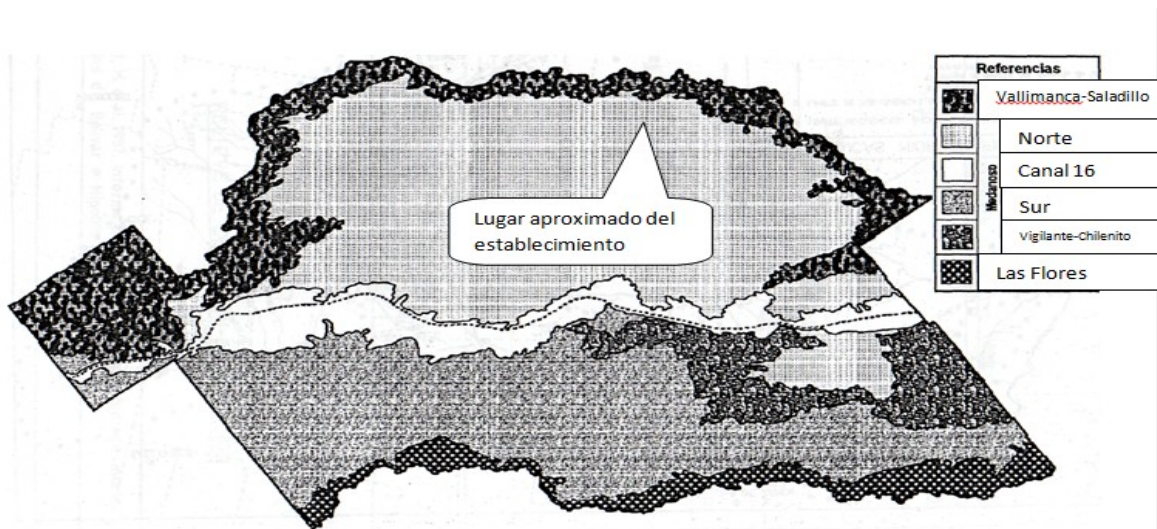


Figura 2.2. Sectores del Partido de Saladillo. Extraída del Mapa de riesgo hídrico del partido de Saladillo CODESA 1996.

En otras áreas del sector existen zonas prácticamente arreicas con drenaje impedido por la morfología superficial donde el agua, producto de la lluvia, ocupa las cubetas de deflación, las áreas intermedanas y los bajos. Presentan fluctuaciones importantes de los niveles freáticos, sujetos principalmente a las características pluviométricas estacionales. Dichos niveles reaccionan en forma relativamente rápida ante situaciones de excesos y deficiencias hídricas. En épocas de lluvias máximas y prolongadas en el tiempo, el nivel freático puede ascender hasta aflorar en los intermedanos agravando el proceso del anegamiento. Si se producen aportes de agua superficial, ya sea por escorrentía o por lluvias, puede llegar a invertirse el fenómeno comportándose la capa freática como efluente (receptor de agua) respecto de los bajos mencionados. El subsector donde se encuentra el emprendimiento presenta una menor posibilidad de anegamiento, salvo por la ocurrencia de lluvias in situ durante lapsos prolongados, lo que provoca el ascenso del nivel freático aproximándolo a la superficie del terreno, reduciendo su capacidad de almacenamiento, hasta anularla. Recién en estas condiciones se puede producir la movilización superficial ocupando áreas deprimidas, cubetas e intermedanos, sin llegar a conformar una inundación.

2.1.3. Meteorología

Los datos de precipitaciones son importantes, por una lado para la realización del balance hídrico, con el objetivo de conocer cuánta agua se puede infiltrar al acuífero freático y en qué estación o mes del año hay mayor recarga, y por otro lado sistematizar los períodos de toma de muestras.

Los datos meteorológicos, entre los años 1989 y 1993, fueron recopilados y analizados por la CODESA, de los cuales se muestra el balance hídrico (Tabla 2.1). Se observa déficit hídrico en el periodo estival, en los meses de diciembre, enero, y febrero, y con exceso en el invernal (Figura 2.3). Sin embargo, el fenómeno de mayor pluviosidad se da en los meses de verano, como se demuestra por las precipitaciones medias desde 1911 a 1969 y desde 1970 a 1993. La lluvia media anual para el partido (CODESA, 1996), es de 885 mm. Los promedios móviles marcan una tendencia, a mayores precipitaciones medias por año.

Tabla 2.1. Balance hídrico mensual para el período 1989-1993 en la estación Las Flores.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Precipitación Media Mensual (mm) P	128	72	105	122	60	101	48	57	48	109	132	117	1099
Evapotranspiración Potencial (mm) EP	141	107	91	58	37	21	15	30	41	70	97	125	833
P – EP	-13	-35	14	64	23	80	33	27	7	39	35	-8	
Sumatoria de P – EP	-21	-56										-8	
Almacenaje	105	79	93	125	125	125	125	125	125	125	125	117	
Variación de Almacenaje	-12	-26	14	32	0	0	0	0	0	0	0	-8	
Evapotranspiración real (mm)	140	96	91	58	37	21	15	30	41	70	97	125	823
Exceso de agua (mm)	0	0	0	32	23	80	33	27	7	39	35	0	276
Déficit de agua (mm)	-1	-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

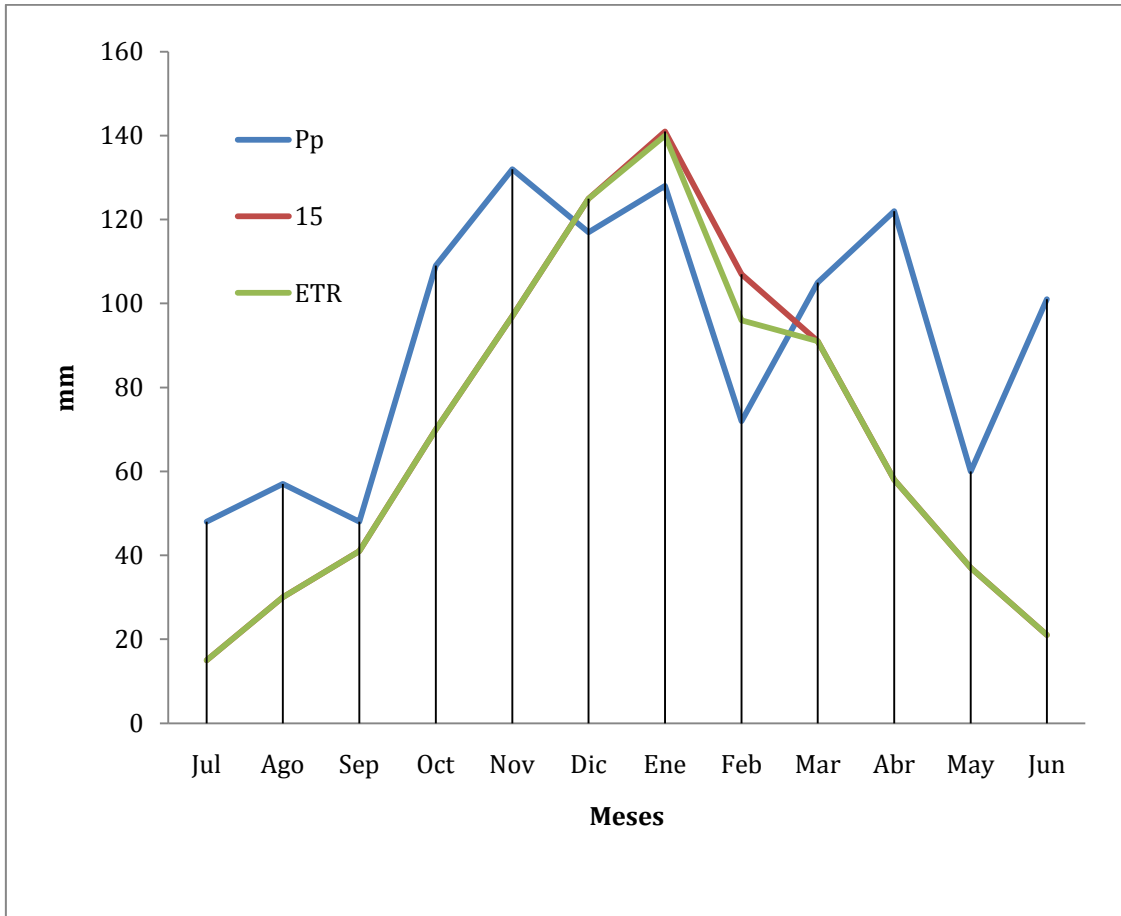


Figura 2.3. Balance hídrico durante el periodo 1989-1993. Extraída del Mapa de riesgo hídrico del partido de Saladillo CODESA (1996).

De la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se extrajo información de la Estadística Climática Básica, de 9 de Julio, lugar más cercano al establecimiento en cuestión, del que se haya información. El periodo de datos es de 1981 a 2010, con los cuales se obtuvo el balance hídrico y se graficó la precipitación y la evapotranspiración, tanto real como potencial (Tabla 2.2., figura 2.4.). La precipitación media, en ese periodo, fue de 1060.3 mm. superior al periodo 1989-1993, y la ET fue menor. Solo los meses de diciembre y enero poseen déficit hídrico. Lo que demuestra que hubo años más húmedos que el periodo 89-93.

Tabla 2.2. Balance hídrico periodo 1981-2010. Estación 9 de Julio.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Precipitación Media Mensual (mm) P	127.9	114.2	144.8	110.3	60.8	38.4	38.3	35.2	61.7	113	108.8	106.9	1060.3
Evapotranspiración Potencial (mm) EP	132	101	87	53	33	20	18	28	41	65	92	122	792
P – EP	-4.1	13.2	57.8	57.3	27.8	18.4	20.3	7.2	20.7	48	16.8	-15.1	
Sumatoria de P – EP	-19.2	-6										-15.1	
Almacenaje	182	195	130	130	130	130	130	130	130	130	130	186	
Variación de Almacenaje	-3	13	5	0	0	0	0	0	0	0	0	-14	
Evapotranspiración real (mm)	131	101	87	53	33	20	18	28	41	65	92	121	790
Exceso de agua (mm)	0	0	52	57	28	19	20	7	21	48	17	0	0
Déficit de agua (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

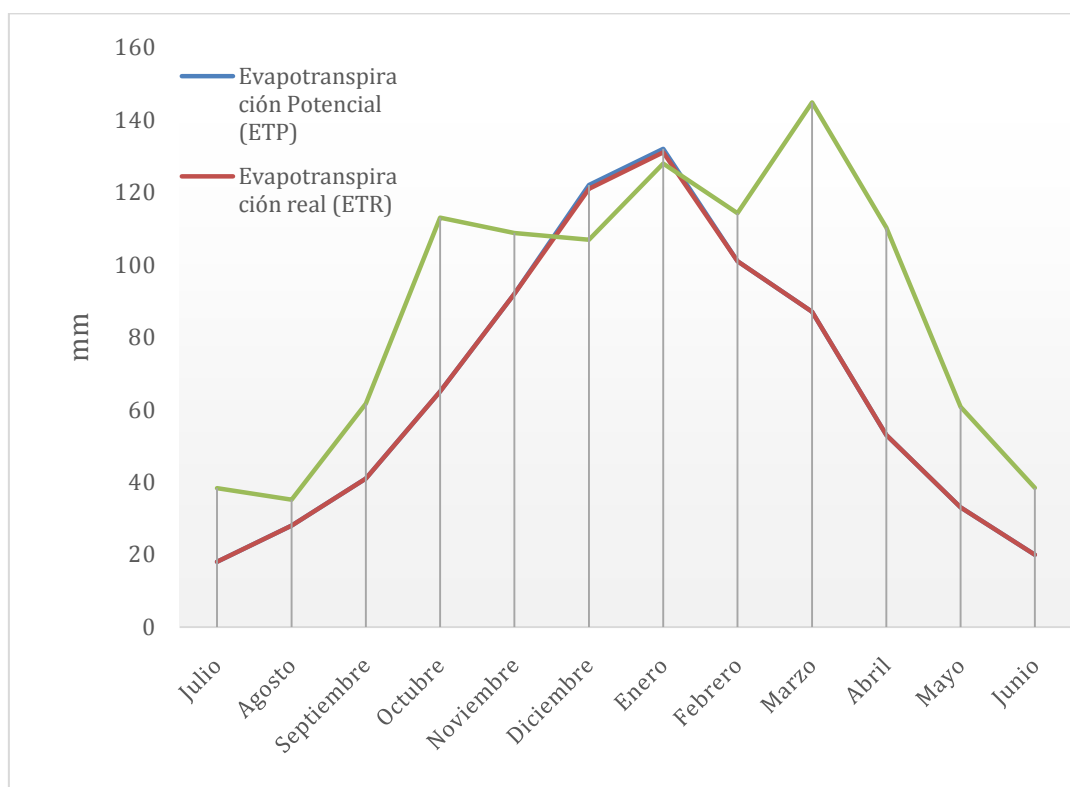


Figura 2.4. Balance hídrico del periodo 1981-2010, según datos del SMN de la estación 9 de Julio.

2.1.4. Hidrogeología. Caracterización de los acuíferos

La CODESA (1996) describe en forma sintética las unidades estratigráficas, reconocidas por perforaciones, en orden de edad decreciente. Solo se describirá la sección Epiparaniana, donde se localizan los acuíferos que el municipio explota y que puede encontrarse en primera instancia afectada por el impacto de la actividad de feedlot.

Sobre la Formación Paraná, en forma discordante, se disponen los sedimentos correspondientes a la Formación Arenas Puelches, o simplemente Puelche. Son arenas de cuarzo muy puras, blanco amarillentas, de grano medio o fino, que han sido reconocidas por perforaciones en el norte de la Provincia de Buenos Aires, sureste de Córdoba, sur de Santa Fe y sudoeste de Entre Ríos. En la localidad de Saladillo, de acuerdo a la información disponible, sobre la profundidad de los pozos, aportada por Obras Sanitarias Municipal (OSM), el Puelche se ubica entre los 100/110 m y los 150/165 m de profundidad. Sobre su hidrodinámica (Auge et al 2002), se estima que la conductividad hidráulica media es de 30 m/d, las transmisividades del orden de 1500 m²/día y un coeficiente de almacenamiento de 10⁻³. Su comportamiento es francamente acuífero. La calidad química del agua que es muy buena en el noreste, desmejora hacia el norte y oeste de la Provincia.

Sobre las Arenas Puelches, se apoya una pila sedimentaria integrada por limos calcáreos, con fracciones de arena y arcilla subordinadas, correspondientes a la Formación Pampa o Pampeano. La presencia de discordancias y paleosuelos en el Pampeano, indica que su acumulación no fue continua, sino que por el contrario, hubo momentos de deposición que alternaron con período de erosión y formación de suelos.

El Pampeano presenta sedimentos relativamente sueltos (poco compactados), pertenecientes a la fracción limo-arcilla, arcilla limosa, con proporciones subordinadas de la fracción arena. La tosca aparece en forma nodular o de muñecos de loess, sin descartar los mantos de poca potencia y reducida expresión areal. Su espesor varía entre 60 y 80 m (información aportada por OSM). La conductividad hidráulica estimada oscila entre 1 y 5 m/día, con transmisividades que pueden superar 200 m²/d y un coeficiente de almacenamiento de 10⁻² (Auge, 2002). Hidrogeológicamente se comporta como

acuífero, con algunos niveles acuitados e integra, junto al Puelche, la sección Epiparaniana. Es el acuífero principal de la región, portador de aguas de buena y muy buena calidad química para todos los usos y rendimientos satisfactorios para las necesidades habituales de la región. Sobre el Pampeano se asientan los terrenos del Postpampeano, integrados por arenas de origen eólico, de granulometría fina y mediana, algo limosas y con muy poco o nada de arcilla, correspondientes a la Formación Junín. El Postpampeano es el término más superficial de la sección Epiparaniana, su comportamiento hidrogeológico es acuífero y junto con los sedimentos actuales, integra la capa freática.

En épocas de registros climáticos medios, la profundidad de los niveles freáticos oscila entre 0,5 y 1,5 metros bajo boca de pozo. Relevamientos de detalle han permitido verificar el carácter efluente de estos bajos con respecto a la capa freática, con gradientes hídricos del orden de 10^{-2} .

2.1.5. Hidrogeoquímica

Respecto a la hidrogeoquímica del agua freática del partido, hay pocos estudios publicados. Kruse et al. (2010) han realizado algunos en el subsector del canal 16 (Figura 2.5) los cuales han dado como resultado aguas bicarbonatadas sódicas, dado que en las lomadas eólicas la disolución de carbonatos cálcicos, la disolución de $\text{CO}_{2(g)}$, el intercambio de bases de tipo $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ y la evaporación dominan la química del agua subterránea. Entre estos procesos las mayores transferencias de masas se relacionan al intercambio $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$.

Respecto a los nitratos, sólo hay información aportada por Obras Sanitarias Municipal, de los pozos de abastecimiento de agua potable, para la localidad de Saladillo, cabecera del Partido. Los mismos se presentarán más adelante.

Los nitratos NO_3^- constituyen la forma más oxidada, estable y móvil de la materia nitrogenada en solución. Las fuentes más comunes de aporte al agua subterránea son: Fijación natural, especialmente por las legumbres; degradación de materia orgánica; contaminación urbana, rural e industrial y los abonos agrícolas (Auge, 2004).

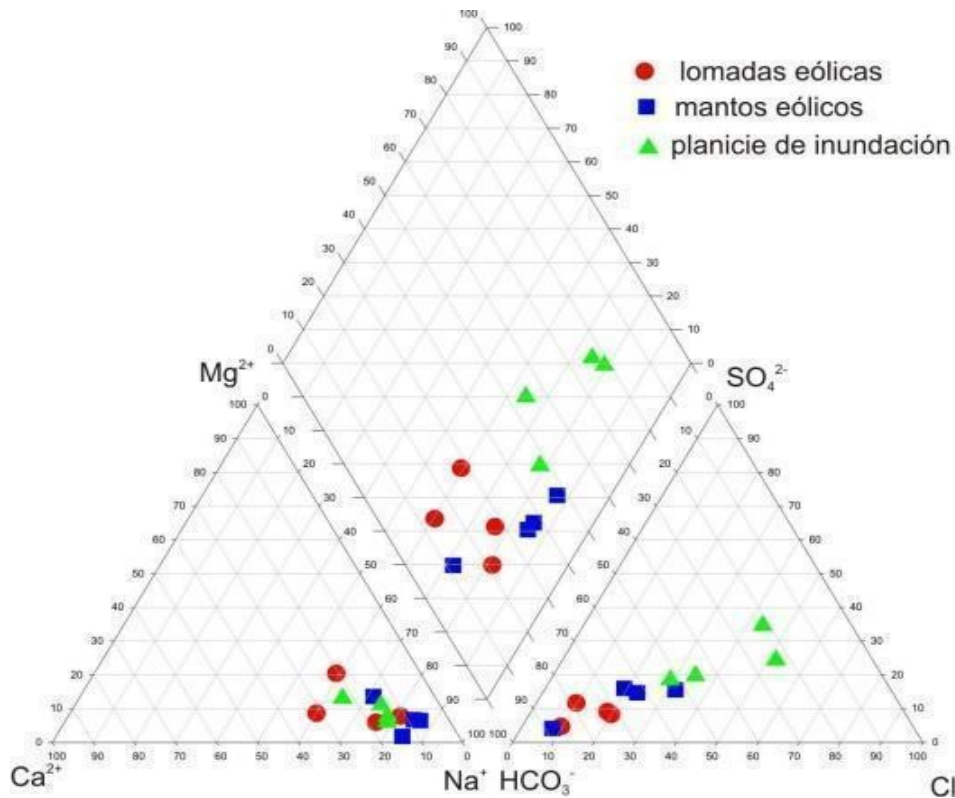


Figura 2.5. Diagrama de Piper de análisis de pozos realizados en el subsector del canal 16. Extraído de Kruse et al. (2010).

El proceso que origina la presencia de nitratos provenientes de la ganadería intensiva, comprende una transformación del nitrógeno en todo el perfil de la zona no saturada hasta llegar a la napa freática. El estiércol contiene diversos nutrientes (N, P, K y Ca), que son eliminados por el bovino y a medida que las excretas se descomponen, el N se transforma.

En primera instancia se produce una amonificación, que es el proceso de liberación de los grupos amino de las excretas en forma de amonio. Este es adsorbido por las arcillas del suelo debido a que el ion amonio tiene carga (+) mientras que las partículas y materia orgánica del suelo poseen carga (-). Posteriormente se produce un proceso de nitrificación en donde las sales de amonio son oxidadas (medio aeróbico) químicamente por bacterias específicas en: Nitrito (NO_2^-) y luego a nitrato (NO_3^-). (Tabla 2.3)

El ion nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo ya que tiene carga (-) y puede ser lixiviado hacia las napas subterráneas o bien ser absorbido por las plantas.

Tabla 2.3. Proceso de nitrificación.

$2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2$	$\xrightarrow{\text{Nitrosomonas}}$	$2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ \text{ (+ energía)}$		
		$2\text{NO}_2^- + \text{O}_2$	$\xrightarrow{\text{Nitrobacter}}$	2NO_3^-

El nitrato es un elemento que se moviliza con facilidad, y en años secos se ha encontrado mayores concentraciones que en años húmedos en aguas freáticas (Muñoz y et al., 2004). El NO_3^- es transportado como un compuesto conservativo, afectado por fenómenos de dispersión y convección (Köhn et al., 2000), que no forma compuestos insolubles que podrían precipitar sin ser adsorbido en forma significativa por el suelo.

Köhn et al (2000), realizaron un modelo de infiltración para suelos limo arenosos, donde la mayor concentración de NO_3^- se acumula en la parte superior del acuífero, y, a mayor profundidad (20 m) no se verifica la influencia del proceso contaminante. Esto sería razonable debido a que el flujo subterráneo es aproximadamente horizontal y el aporte de nitratos es por lixiviación desde la superficie, por lo que es poco probable que el nitrato alcance las capas más profundas durante plazos cortos de tiempo.

La problemática del P en los ecosistemas, pasa por las pérdidas de este elemento, que por escurrimiento superficial termina alcanzando los ríos, lagos y arroyos generando la eutrofización de los mismos. Pero en el suelo estos iones son retenidos por las partículas coloidales (arcillas, materia orgánica), fijados o precipitados por iones como el calcio, hierro o aluminio, y tienen escasa posibilidades de moverse.

La adsorción de fosfatos es un proceso común en suelos de la Región Pampeana, caracterizada por contenidos de arcilla medios a altos y un buen contenido de MO. En aguas los fosfatos están relacionados directamente con la estimulación del aumento en la población de algas azul verdosas, éstas aumentan la DBO, causando la eutrofización de los cuerpos de agua templados. Algunas cianobacterias pueden producir una neuro-hepato-toxina

que en algunos casos ha llegado a matar al ganado y afectar la salud (Lawton y Codd, 1991 en Heredia et al, 2000).

2.1.6. Suelos

Los suelos dominantes son Molisoles, y dentro de ellos, los Hapludoles. El grupo de los Hapludoles está representado por materiales más gruesos que los loésicos, alcanzando un desarrollo incipiente. El subgrupo típico muestra un horizonte B definido por una ligera estructuración, por lo que resulta buen regulador del agua. (CODESA, 1996).

En lo que respecta al área de estudio, los tipos de suelo pertenecen mayoritariamente a las series La Albina (LA) y Saladillo (Sa) (Figura 2.6) de acuerdo con la Carta de suelos del INTA (2009). Parte de la zona estudiada también incluye suelos de la serie Bolivar (Bv).

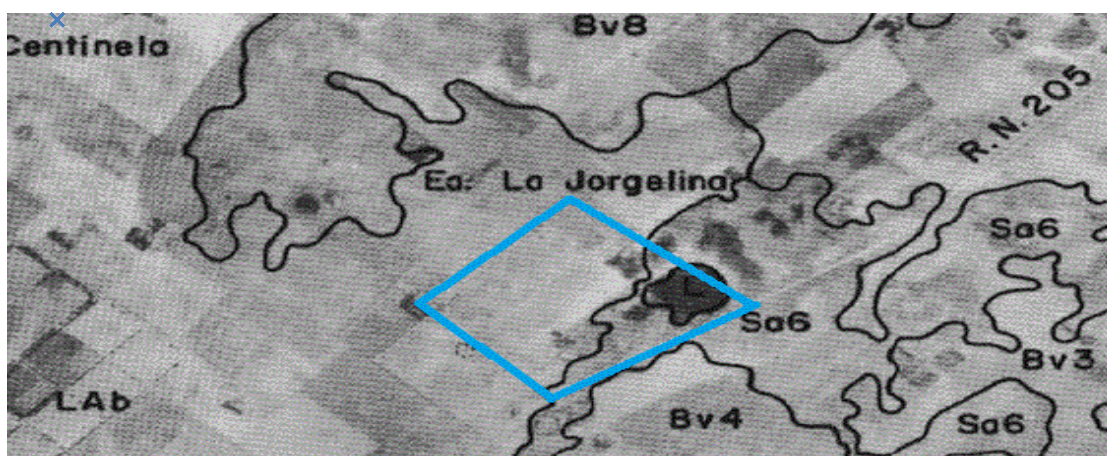


Figura 2.6. Recorte de la carta de Suelo de INTA. 3560-28-2. En celeste se muestran los límites del área de estudio para el drenaje superficial. La letra "L" indica laguna.

El suelo de la serie La Albina (LAb), es pardo, profundo, de aptitud agrícola que se encuentra en un paisaje de planicies suavemente onduladas de la Subregión Pampa Arenosa. En posición de bajos, algo pobremente drenado, formado por una acumulación de material arenoso, que sepulta un Bt nátrico, de un sedimento más antiguo, de textura franco arcillo arenoso. Es alcalino a partir de los 40 cm. de profundidad, débilmente salino desde los 60 cm, con pendientes de 0-0.5 %. Son suelos de escurrimiento lento, permeabilidad baja, con presencia de la napa freática entre 1-1,50 metros.

Los Suelos Sa6, son un complejo de series Saladillo (60%), La Albina, fase algo pobremente drenada (20%) y Santa Rita, fase poco anegable (20%). El suelo de la serie Saladillo (Sa), es un suelo muy oscuro, profundo, de aptitud agrícola, ocupa la media loma baja, moderadamente bien drenado, escurrimiento medio, permeabilidad moderadamente lenta, con pendientes de 0,5-1 %.

La serie Bv, presenta un suelo pardo grisáceo oscuro, profundo, poco desarrollado, con aptitud agrícola. Es algo excesivamente drenado, con permeabilidad moderadamente rápida a moderada, con escurrimiento medio, sin peligro de anegamiento y nivel freático profundo, habiendo evolucionado sobre un sedimento eólico franco arenoso con texturas superficiales franco arenosas, no alcalino, no salino, con pendientes de 0-1 %.

2.2. Relevamiento de la topografía y freaticimetría

2.2.1. Relevamiento topográfico

Para completar la caracterización de la zona, en primera instancia, se realizó un relevamiento topográfico que permitiera describir el relieve y direcciones de escurrimiento superficial de la zona de influencia del emprendimiento (Figura 2.7). Dicho relevamiento fue del tipo nivelación diferencial, por el método de poligonal cerrada, para determinar la planimetría. Se partió de un mojón del IGM cercano a la RN 205, cuyas coordenadas geográficas son 35° 29' 49" S y 59° 38' 57" O. Se usó el sistema de coordenadas de Gaus Krugger, con el datum WGS 84, la faja 5 para Argentina (IGN, 2016). Las coordenadas planas Gauss-Krüger del mojón inicial son $x= 6072036$ $y= 5531740$. Las mismas están expresadas en metros, significa que el punto inicial está a 6072036 metros del polo sur y a 31740 metros al este del meridiano 60, respectivamente.

Para facilitar el cálculo, por el método empleado de poligonal cerrada, se tomó como altura sobre el nivel del mar, un valor artificial cercano al real, de 39 msnm, desde allí se tomaron los puntos cada 100 metros aproximadamente.

El área de estudio, de aproximadamente 213 ha, se sitúa entre las coordenadas Planas X= 5531197 y 5532667 e Y= 6071979 y 6073431.

El equipo usado para la realización del plano topográfico es un nivel óptico automático de 28 x, con compensador magnético (Wiseman AL10A28H). Para georreferenciar se empleó un GPS marca Garmin 60CSx. En la Figura 2.7 se muestra la ubicación de los puntos georreferenciados con una cruz.

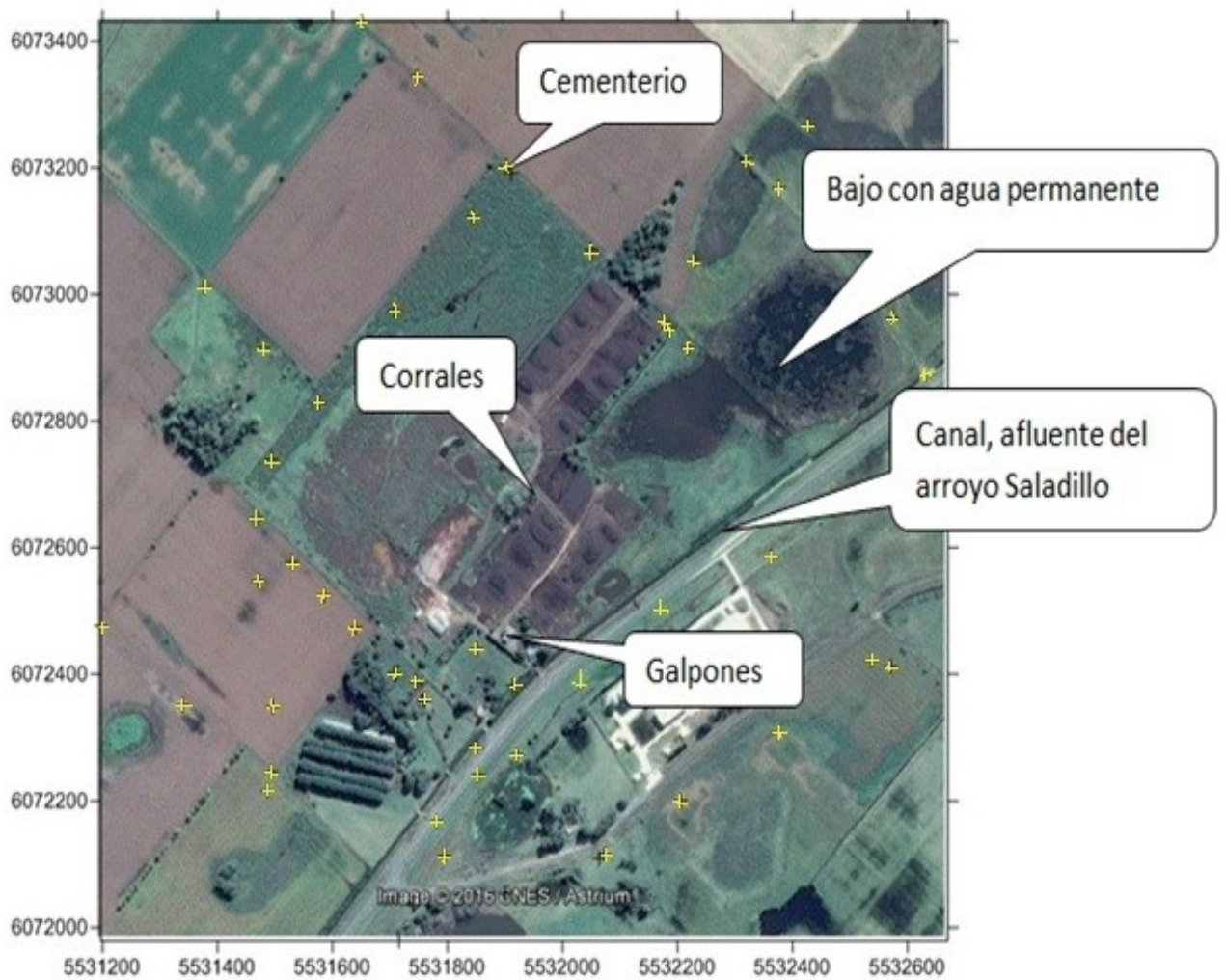


Figura 2.7. Mapa del establecimiento en estudio. Ubicación de los diferentes puntos georreferenciados marcados con cruces y zonas de importancia para el estudio.

2.2.2. Instalación de los freáticos

En base a la información del relevamiento topográfico, se diseñó la ubicación de las perforaciones a realizar hasta una profundidad de 6 metros, en el acuífero freático para la instalación de freáticos. Estas perforaciones permitieron la medición de la profundidad del agua freática y junto con las cotas de las bocas de pozo se pudo estimar los niveles freáticos respecto de un mismo nivel de referencia.

Para la instalación de los freáticos, se seleccionaron aquellos puntos que otorgaban una distribución equiespaciada. Los pozos fueron realizados con un barreno de 7,5 cm de diámetro, hasta alcanzar una profundidad de 6 metros, dado que los datos históricos empíricos y de la CODESA, indican que el nivel freático oscila entre 0 y 4 metros. Los caños son de PVC (tipo hidráulico), de 60 mm de diámetro. En la parte inferior del mismo se realizaron ranuras cada 8-10 cm desde la base hasta unos 70-80 cm de la boca superior del caño. Una vez realizadas las ranuras, el tubo se protege con una tela permeable, que actúa como filtro de los sedimentos, de material plástico con una trama fina (Liotta. 2008). (Figura III.a. anexo 3).

Dichos freáticos fueron instalados, formando dos anillos rodeando al emprendimiento, de acuerdo con las recomendaciones de Perdomo (2001), quien propone que el anillo central esté a una distancia aproximada de 50 metros y clasifica a los pozos como cercanos al que esté dentro de dicho radio y lejanos al que esté por fuera del mismo. En este caso la distancia máxima fue tomada como 350 metros, dado el inconveniente de ingreso al establecimiento para la realización de los pozos a una distancia menor a 50 metros de los corrales. De esta forma, se aseguró tener perforaciones representativas de la zona, aguas arriba y abajo respecto de la fuente de contaminación que se considera que son los corrales.

Las perforaciones que rodean el feedlot, fueron realizadas entre el 1º y el 8 de febrero de 2015 (Figura 2.8). Los pozos fueron enumerados, desde el pozo 1 al pozo 8, en el primer círculo. El 2º círculo de pozos se incluye del 9 al 17. Los pozos 11, 15 y 16 se encuentran hacia el sur al otro lado de la ruta 205.

Las perforaciones fueron realizadas con equipamiento propio, adaptando una torre a una máquina hoyadora Niwa ONW 520, con mecha de 3 pulgadas (Figura III.b. anexo 3), en las cuales se introduce el caño de PVC hidráulico (Figura III.c. anexo 3).



Figura 2.8. Ubicación de los freaímetros de monitoreo.

2.2.3. Determinación de niveles freáticos. Mapas de isopiezas o nivel freático

La profundidad de los niveles freáticos fue medida mediante una sonda construida con cinta métrica plástica, cable paralelo para audio, un multímetro, portapilas y una plomada (Figura III.d, anexo 3). Los extremos del cable se pegan al extremo de la cinta, a una distancia mínima entre ambas puntas, que permita que los iones del agua cierren el circuito eléctrico, de tal manera que pueda ser detectada, la corriente, por el amperímetro. Para determinar la sensibilidad se introdujo varias veces en el pozo, y se midió la profundidad del nivel freático, con esos datos se calculó la media, dando como resultado muy poca variación entre las mismas. Luego se calculó el nivel de la freática en relación con el nivel del mar, restando a la cota de la boca de pozo la profundidad medida. (Tabla 3.1)

Se empleó el programa Surfer 10, (Golden software, 2012) para realizar la interpolación por kriging para obtener las isolíneas de nivel freático. Surfer es un software en 3D, contorno y superficie, se utiliza ampliamente para el modelado del

terreno, modelado batimétrico, visualización de paisaje, análisis de superficies, cartografía para el contorno, cuencas hidrográficas, cartografía de superficie 3D entre otras funciones.

2.3. Prospección geoelectrica

Se realizó una prospección geofísica con el método geoelectrico de forma de caracterizar la extensión de la potencial contaminación por efecto de la actividad en los corrales y también para determinar el nivel freático en zonas donde no había freatímetros.

En distintas posiciones, habiendo determinado según las líneas isofreáticas la zona aguas arriba y aguas abajo de los corrales, se realizaron sondeos geoelectricos del tipo tomografía de resistividad eléctrica para lo cual se empleó un resistivímetro SARIS (Scintrex Limited). Se llevaron a cabo siete sondeos que se ubicaron de acuerdo con la distribución de los pozos. (Figura 2.9), en dirección Noroeste a Sureste. Se realizaron cuatro sondeos en cuatro pozos correspondientes al anillo cercano (2, 4, 6 y 8) y en tres pozos del anillo lejano (10, 13 y 16).

Se utilizó la configuración dipolo-dipolo (Allred *et al.*, 2008), con una distancia de 2 m entre electrodos y con abertura máxima de 50 m de longitud. Se estima el alcance de las mediciones en 12 m de profundidad (n=6).



Figura 2.9. Localización de los sondeos geoelectricos (líneas rojas).

Los datos experimentales fueron invertidos obteniéndose modelos bidimensionales (2D) de resistividad eléctrica (inversa de la CE) usando el programa DCIP2D desarrollado por UBCGIF (University of British Columbia, Geophysical Inversion Facility). Es decir, se obtiene un modelo de distribución de la resistividad eléctrica de la tierra que varía lateralmente y en profundidad. El programa se basa en el trabajo de Oldenburg y Li (1994) que encuentra un modelo que minimice una función objetiva sujeta a ajustar los datos experimentales a un valor determinado. Mediante la distribución de resistividad de estos modelos con la profundidad, se pueden inferir la ubicación del nivel freático y compararlos con los resultados obtenidos en la medición en los pozos. También se compararon los valores de resistividad o su inversa la conductividad eléctrica, en la zona no saturada y saturada respecto a una posición testigo aguas arriba, para determinar el potencial alcance de la contaminación.

A partir de los modelos, se estimó el valor de resistividad de la Zona Saturada (ZS) (acuífero freático) para determinar los alcances de la salinización por efecto de los lixiviados de los corrales. Cada modelo tiene asociado un valor de CE (promedio) de la Zona no saturada (ZNS) que se lo comparó con la CE del suelo medido en el extracto de pasta de saturación promedio a partir de dos muestras compuestas tomadas en cada sitio (Page, 1982). También se asocian a cada modelo dos valores que provienen de datos del pozo: la profundidad del nivel freático medida en el mismo y la CE de la muestra de agua.

2.4. Balance hidrológico

Se realizó un balance hidrológico con series 2011 al 2015 con el objeto de comparar con el informado en los antecedentes.

Se tomaron datos de la estación meteorológica automática (EMA), marca Davis Instruments del CFR (Centro de Formación Rural, Fundación Marzano), que suministró los datos desde 2011 al 2015 inclusive. Se tomó un periodo de 5 años para comparar con el mismo periodo del 89-93 descrito en los antecedentes. Luego fueron anexados los datos del año 2016. Los datos fueron cargados al Programa de Aplicación de Agrometeorología (Hurtado, 2006) realizado por la cátedra de Climatología de la FAUBA.

En el mismo se introdujeron datos de Temperatura media, Temperatura mínima media, Temperatura máxima media, Precipitación, Humedad relativa, presión y velocidad del viento, suministrados por la EMA. Los datos de heliofanía efectiva fueron extraídos de la tabla de Custodio Llamas (1983), para latitud de 35° en hemisferio sur.

Para el Cálculo de la ET se empleó el modelo de Thornthwaite, dado que el programa Agrometeorología, toma para los cálculos de Evapotranspiración, ese modelo. Se tomó como capacidad de campo, 130 mm, dato aportado por CODESA (Tabla 2.1).

2.5. Determinación de la recarga del acuífero freático

Conocer la recarga de la freática sirve como parámetro para determinar la vulnerabilidad del acuífero y su potencial contaminación. Para la determinación de la vulnerabilidad se trabajó con el almacenamiento anual, que surgió del balance hidrológico.

La recarga dependerá del tipo de suelo, la humedad, cobertura, la precipitación y evapotranspiración.

Se tomó la decisión, también, de determinar la recarga de manera indirecta, local y temporal, más cercana a la toma de muestras; se calculó mediante la ecuación 1 utilizando los datos obtenidos de la estación meteorológica automática (EMA- CFR). Se consideró, para estimar el balance de agua temporal, la precipitación acaecida más recientemente antes a la toma de muestras, a la cual se le suman las precipitaciones totales ocurridas en los cinco días anteriores a la misma (Sanchez, 2011). Los datos obtenidos, también, se emplean para determinar la humedad del suelo. Los valores de evapotranspiración real (ETR) se obtuvieron también de la EMA, sumando los resultados de los mismos cinco días que se tomaron para el cálculo de las precipitaciones temporales.

Para el cálculo del umbral de escorrentía, P_0 , se usa el método de Número de Curva (CN), del modelo del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), Departamento de agricultura de los Estados Unidos (Custodio, 1976); (Sánchez, 2011), determinado por el uso del suelo, la pendiente, características hidrológicas y grupos de suelo.

Para estimar entonces la recarga se considera que:

$$\text{Recarga} = P - P_e - ET \quad \text{ec. 1}$$

Siendo:

P: la precipitación diaria más cercana a la toma de muestra más las acaecidas cinco días anteriores.

P_e: la precipitación efectiva o la que escurre.

ET: la evapotranspiración (Calculada durante el mismo periodo de cinco días antes de la precipitación en cuestión).

La fórmula empleada para determinar la precipitación efectiva o escurrimiento (**P_e**) (Sánchez, F. J. 2011), es la siguiente:

$$P_e = \frac{(P - P_0)^2}{(P + 4P_0)} \quad \text{ec. 2}$$

Donde:

P_e: Precipitación neta o efectiva

P: Precipitación total registrada

P₀: Abstracción inicial o umbral de escorrentía.

El tipo de suelo es muy homogéneo en la zona de estudio, pero su humedad y cobertura varía a lo largo del año, por lo que se dividió la misma en subsectores, de acuerdo con el uso del suelo y categorizándolas de acuerdo con el método definido por la NRCS, según la escorrentía superficial, dada por las curvas de nivel (Custodio, 1976; Sanchez, 2011). Se tomó para ello las dos estaciones que muestran marcadas diferencias, verano e invierno, sobre todo en el uso del suelo.

En primera instancia se estableció a qué grupo de suelos pertenecen los del área de estudio, los cuales pueden agruparse dentro de cuatro tipos (A, B, C, D), según la categorización que NRCS realiza de los suelos, de acuerdo con sus propiedades hidráulicas, como la textura, infiltración, drenaje y potencia. (Tabla I.c. anexo 1)

Una vez obtenido el grupo al que pertenece el suelo en cuestión, se estimó el umbral de escorrentía (**P₀**), de acuerdo con el uso del suelo o cobertura, su pendiente y características hidrológicas. (Tabla I.d. anexo 1).

La escorrentía superficial se verá afectada por la humedad previa del suelo. Por ende, al valor obtenido de **P₀**, hay que ajustarlo de acuerdo con dicha humedad. Para determinar la misma, se considera las precipitaciones más cercanas, anteriores

a la toma de muestra, en cinco días consecutivos y al desarrollo de la vegetación (Tabla I.e., anexo 1). Se clasifica entonces al suelo como seco, normal o húmedo. Una vez determinada la humedad previa del suelo, se ajusta el umbral de escorrentía o P_0 (II) calculado inicialmente como normal, modificando el valor de P_0 mediante la tabla I.f. anexo 1.

2.6. Muestreo de aguas

Se realizó la extracción de muestras para su análisis físico-químico y microbiológico. Para ajustar las técnicas analíticas se realizó un muestreo preliminar en otoño de 2015, en el que se midieron todos los parámetros seleccionados. Las muestras se tomaron a los 4 metros de la boca del caño, medida que promedia entre el nivel freático más bajo y la base del pozo. Para el análisis de los nitratos y fósforo total se tomaron muestras solo del anillo interior (Figura 2.8) dado que en el anillo exterior se detectaron, en el estudio previo, concentraciones de nitratos que superaban las del anillo cercano, que se supone se debe a la presencia de galpones de producción avícola y de criadero de cerdos (pozo 12) o de zona de cultivos de maíz (pozos 15 y 16).

Para la toma de muestras se empleó un bailer de PVC de 1 metro de largo por 4 cm de diámetro, para toma de muestra superficial, y otro de PP (Polipropileno) con válvula de retención de 1 metro de largo por 2.5 cm de diámetro, empleado para sacar agua a 4 metros de profundidad. Para los análisis físico-químicos se emplearon botellas de plástico (PET) de 500 ml y para el bacteriológico, recipientes estériles de 250 ml.

Los muestreos se realizaron en:

- Invierno de 2015, el 15/9.
- Primavera de 2015, el 7/11.
- Verano de 2016, el 17/2
- Otoño de 2016, el 4/6

El muestreo comenzaba con el círculo interior de pozos. En cada uno, se midió, en primera instancia, la profundidad de la freática, luego, con el bailer superficial, se purgó el pozo desechando la primera muestra de agua, luego en la segunda extracción, se tomó datos de los parámetros de pH, conductividad, sólidos totales disueltos, temperatura y oxígeno disuelto. Una tercera muestra es tomada a 4 metros donde se llena la botella de 500 ml para el posterior análisis de nitratos y

fósforo, y se llena el recipiente estéril de 250 ml para el análisis bacteriológico (este último, solo se realizó en tres de las cuatro estaciones). Las muestras se rotularon y se colocaron en una conservadora con material refrigerante. Fueron analizadas en el laboratorio de microbiología de la EEST N° 1 de Saladillo y luego remitidas al laboratorio (LPGA) de la cátedra de Física de la Facultad de Agronomía de la UBA. Los bailers fueron reutilizados, lavándolos en primer lugar con alcohol 70% y luego, triple lavado en agua destilada.

2.6.1. Análisis físico-químico del agua freática.

En el lugar, durante las extracciones de muestras, se midieron los parámetros: pH, Temperatura, sólidos disueltos totales (STD) en ppm y conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$. con un tester multiparamétrico Hanna, HI 9812 y Oxígeno disuelto en ppm mediante un oxímetro Hanna, HI 9146. Los instrumentos son calibrados con soluciones Hanna HI 70007, HI 70031 y HI 70032. Para su limpieza se emplea la solución HI 700661. Tales parámetros se midieron en los dieciséis pozos disponibles, sobre los dos anillos, mientras que para nitratos y fosfatos se ha tomado muestras de los nueve pozos (del 2 al 8 y 10) más cercanos a los corrales (1° anillo).

Los contenidos de nitratos y fosfatos de las muestras de agua de los pozos realizados alrededor del Feedlot, fueron determinados, en el laboratorio de la Escuela de Educación Secundaria Técnica N°1, con un espectrofotómetro Hanna C99, que emplea el método adaptado de reducción por Cadmio, para la determinación de nitratos y el método adaptado de ácido ascórbico para los fosfatos (Manual de Instrucciones Hanna) Los métodos son adaptados del Standard Methods for examination of water o wastewater (Cleresci, 1989). Al mismo tiempo, se analizaron las mismas muestras en el LPGA de la Cátedra de Física de la Facultad de Agronomía de la UBA, donde se usó la técnica SNEDD para nitratos (Kampssshake, 1997) y el método de Bray y Kurtz, para el fósforo total (Bray y Kurtz, 1945)

Los datos obtenidos, se volcaron al programa Surfer 2010 (Golden Software, 2012), donde se realizaron los mapas de interpolación de la concentración de los compuestos mencionados y al programa IBM SPSS Statistics Visor (IBM Corporation, 2013), para hacer estadística descriptiva. Para esto último se tomó como medida de centralización a la mediana y los cuartiles 25 y 75. Y plasmar los

resultados en gráficos de cajas. Este tipo de gráfico permite observar valores atípicos, que se destacan de los demás valores, porque quedan fuera del rango intercuartílico. Los mismos son calculados considerando el valor del cuartil 25 y del cuartil 75, la diferencia entre ellos da el rango intercuartílico, que multiplicado por 1,5 da un valor que se resta al cuartil 25 y se le suma al cuartil 75, obteniéndose valores mínimos y máximos. Si algún dato supera esos valores, es considerado atípico. Por ejemplo, si el cuartil 25 tiene un valor de 400 y el 75 un valor de 700, el rango es de 300, si al mismo se lo multiplica por 1.5, da un valor de 450. Si algún dato supera, la suma de ese resultado más el valor del cuartil 75, o sea 1150, se lo considera un valor atípico.

2.6.2. Análisis físico-químico de agua superficial.

Se tomó una muestra del agua superficial del bajo lindante al emprendimiento, en verano, que siendo la estación seca, se pudo acceder y se había interrumpido el aporte al canal paralelo a la RN 205. Se analizaron los mismos parámetros que para el agua freática.

2.6.3. Análisis microbiológicos

Los análisis bacteriológicos se realizaron en el Laboratorio de microbiología y analítica de la EEST N°1 de Saladillo según las normativas del Código Alimentario Argentino (CAA) (ANMAT, 2016).

El cultivo de Bacterias mesófilas, se realizó en agar nutritivo, sembrando 0.1 ml y 1 ml de la muestra por pozo, determinándose su número como UFC (Unidad Formadora de Colonia), luego de 48 hs. en estufa de cultivo a 37°C. (ANMAT. 2014)

El recuento de Coliformes se realizó por la técnica de Número Más Probable (NMP), en Caldo Mac Conkey y campanita de Durham, sembrando 10 ml, 1 ml y 0.1 ml de agua de la muestra, distribuido en tres tubos con caldo doble y seis tubos con caldo simple concentración, incubados 48 hs en estufa de cultivo a 37°C.

Para determinar la presencia de *Pseudomonas aeruginosa*, se colocaron 10 ml del agua de la muestra en 50 ml de caldo nutritivo, y se llevó a estufa de cultivo por 48 hs a 37°C, transcurrido ese tiempo se realizó repique en agar Cetrimide, que se incubó por 24 hs a 37°C.

Con los tubos positivos de caldo Mc Conkey, se repicaron para la determinación de presencia de *E. coli*. No se realizó la marcha bacteriológica, en su totalidad, sino que

a partir de los tubos que dieron positivos, se realizó repique en Agar Levin, llevado a estufa a 37°C por 24 hs. Se consideraron colonias positivas las de color negro azulado metalizado.

2.7. Carga animal

Para establecer la carga animal durante el periodo de muestreo, se tomó los datos aportados por la Oficina de Guías de la Municipalidad de Saladillo, que refieren solo al movimiento de éstos. Se trabajó con los datos de entradas y salidas de animales de los clientes con mayor participación en el flujo de ganado en el establecimiento en cuestión. Los mismos estaban representados en una planilla donde se registraron los movimientos de animales por mes, las entradas con números positivos y las salidas con negativos. A fin de conocer el stock al inicio del año 2015, para tener una aproximación al comienzo de los muestreos (Tabla II.h. anexo 2) se realizó un balance anual de la cantidad de animales, a partir de los datos de entradas y salidas mensuales, desde el año 2006 que comenzó su actividad hasta diciembre de 2014. Luego se realizó un balance por trimestre, para estimar la cantidad de animales desde enero de 2015 a junio de 2016. Para el cálculo de la cantidad de ganado según su categoría (edad y kilaje), se tuvo en cuenta el crecimiento del animal en edad y kilogramos (Tabla I.g. anexo 1), para reagruparlos de acuerdo con los egresos. En las tablas II.i y II.j (anexo 1) se expresan los datos obtenidos del cálculo estimado de cantidad de animales. Por ejemplo: el balance de novillos a diciembre de 2014 arroja un resultado de 1320 egresos (vendidos) de esa categoría de animales, que supera el stock estimado al comienzo del mismo año de 658 novillos, la diferencia de 662 animales vendidos, se toma de la cantidad de terneros (2400) y de novillitos (261), en stock al comienzo del año, porque se supone que en el transcurso del mismo se han convertido en novillos.

Como las excretas dependen del peso del animal, se estima la biomasa de animales como kilogramos totales en los meses del periodo de duración del estudio.

Esos valores pueden estar subestimados, porque se obtuvieron a partir del movimiento declarado por sólo algunos de los clientes con mayor participación en el establecimiento en cuestión, y no de todos los animales que ingresan o egresan del mismo.

Como las muestras de agua fueron tomadas en agosto y noviembre de 2015 y en febrero y junio de 2016, se tomó como dato representativo de cada estación la

sumatoria de ingresos y egresos, correspondiente al trimestre anterior a la toma de muestra (15/9/15, 7/11/15, 17/2/16, 4/6/16) (Tabla 3.14).

2.8. Análisis de Vulnerabilidad del acuífero libre

Se estimó la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero freático de la zona de emplazamiento del feedlot. Se realizó mediante la aplicación de dos modelos: GOD y DRASTIC.

El Método GOD (Foster, 1987) utiliza tres variables: Distancia al agua, Ocurrencia de agua subterránea, y Sustrato litológico (Figura III.d. anexo III).

Mientras que el DRASTIC (Aller, 1987) emplea más parámetros que el primero, son siete variables: 1- Profundidad hasta el nivel freático (D); 2- Recarga neta (R); 3- Material del acuífero (A); 4- Suelo (S); 5- Topografía (T); 6- Impacto de la zona no saturada (I); 7- Conductividad hidráulica (C)

Profundidad al acuífero libre: Los niveles del agua subterránea se encontraron entre 0.32 y 2.3 m de profundidad, coincidente con los valores expresados por la Codesa (1996). Se tomaron los valores promedios medidos en cada estación, para determinar la profundidad del acuífero freático.

La pendiente se extrae de la información aportada por el estudio planimétrico y por la altimétrica aportada por la CODESA. En la recarga se tuvo en cuenta los datos obtenidos por el balance hidrológico, dado por el Almacenaje, que tiene como límite la capacidad de campo de los suelos, la cual la CODESA determina como 130 mm. Si bien hay meses con déficit de agua, se toma el valor promedio anual. Para el índice correspondiente al suelo se toma la información aportada por los mapas de suelos del INTA. Para la litología del acuífero y conductividad hidráulica se toma la información aportada por la CODESA (1996). La Tabla I.a. (anexo 1) muestra los rangos y valores de los parámetros e Índices de ponderación del DRASTIC.

Se considera, de acuerdo con la información obtenida, un rango y valor para cada variable del DRASTIC, que sumados darán un índice, que indicará el estado de vulnerabilidad del acuífero libre (Tabla I.b. anexo 1)

3. Resultados y Discusión.

3.1. Niveles topográficos y flujo superficial

Los datos obtenidos del relevamiento topográfico (Tabla II.1, anexo 2), se utilizaron para realizar un mapa de curvas de niveles (figura 3.1), que fueron determinadas a partir de los puntos georreferenciados por interpolación por kriging. De esos puntos se seleccionaron 17, para realizar los pozos freáticos. Se superpuso una imagen georreferenciada del Google Earth, donde puede observarse que los bajos de la imagen satelital en el sector Noreste de la zona de estudio coinciden con las curvas de nivel más bajas realizadas por el programa de interpolación. La pendiente se calcula desde oeste a este, en la coordenada 60772800, desde 5531400 hasta 5532400, o sea 1000 metros, dando como resultado 0.08%.

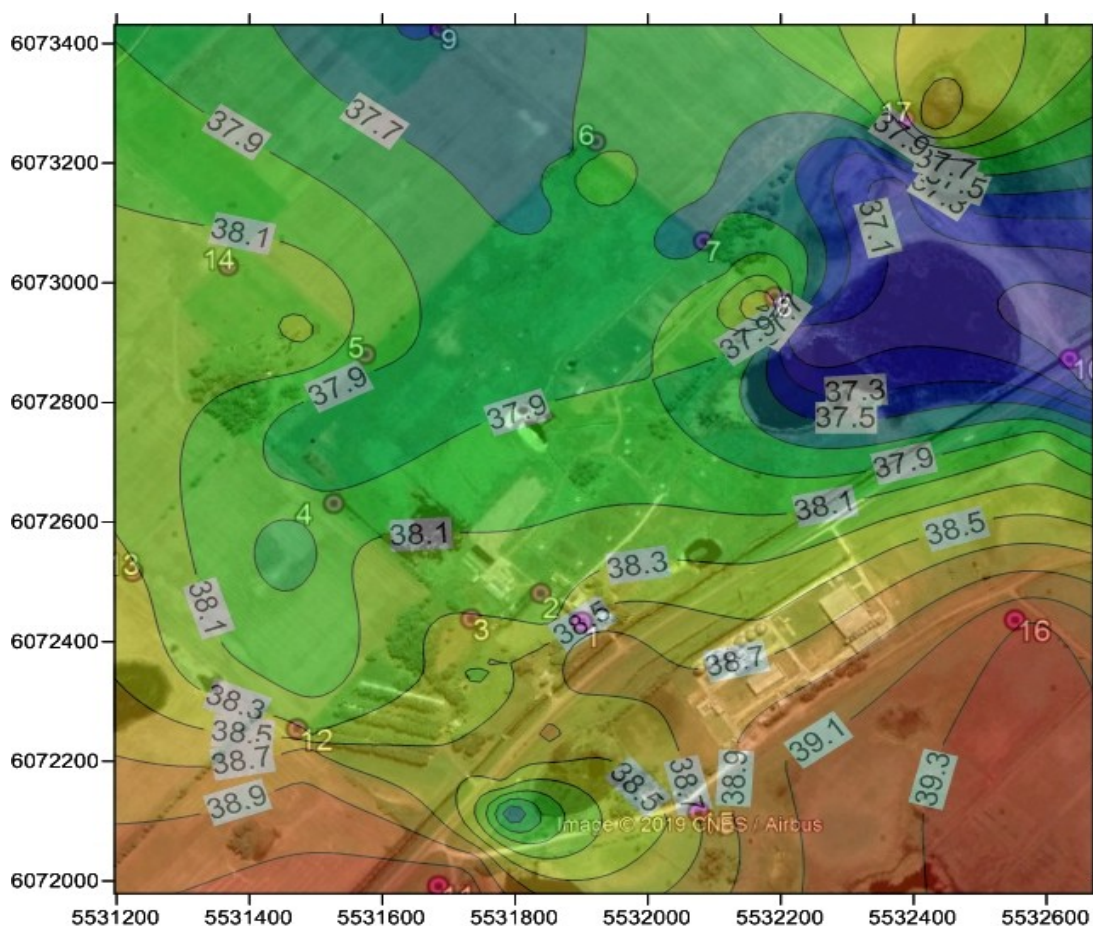


Figura 3.1. Mapa con curvas de niveles topográficos (cmsnm) superpuesto a la imagen satelital de la zona de estudio. Los círculos rojos con números indican la ubicación de los freáticos

3.2. Perforaciones y Niveles piezométricos

En varios de los pozos se presentaron capas de tosca en su perfil, a diferentes profundidades y con distinto espesor. En el pozo 4 se halló a los 3.5 m, con un espesor de 0.5 m. En el pozo 8 a los 4 m con un espesor de 0.3 m. En el pozo 9 a 2 m de profundidad y con un espesor de 1.5 m, mientras que en el pozo 10 se la encontró a los 4 m con un espesor de 0.70 m.

El pozo 10 presentó arena más gruesa que el resto, siendo el único de los que rodean al feedlot, situado en suelos de la serie Saladillo.

Con los datos del nivel freático (Tabla 3.1) se realizaron mapas equipotenciales. Se graficaron las isolíneas de nivel piezométrico del acuífero freático en las distintas estaciones del año y las direcciones de flujo subterráneo (Figuras 3.2 a 3.5). Estas últimas acompañan al flujo superficial en general, hacia el bajo topográfico ubicado en el NE. El pozo 1 fue desestimado en el gráfico de isolíneas, porque el nivel de la freática difería en más de un metro y medio de profundidad del resto de los pozos, por lo que se supuso que se encontraba ubicado en el cono de depresión del pozo de captación de agua del establecimiento de engorde a corral, confirmado en comunicación personal por un vecino al predio. Aun habiendo desestimado el pozo 1, en todas las estaciones del año, hay un flujo hacia los galpones del establecimiento, probablemente debido a la extracción de agua del pozo de abastecimiento. Este efecto se puede observar en los mapas de isolíneas de las figuras 14 a 17, que muestran una anomalía de flujo de agua subterránea hacia el sector del pozo 1.

En términos generales se puede determinar que la dirección de flujo subterráneo que pasa por debajo de los corrales es de oeste a este, parecido a los resultados de escurrimiento superficial donde se podía observar que gran parte de los corrales drenan al bajo lindante en el noreste, cuyas aguas efluyen hacia el canal paralelo a la RN 205.

Para estudiar la variación estacional de la capa freática, se analizó una transecta O-E en los datos del modelo (Figura 3.6, línea roja). Teniendo en cuenta las curvas de nivel, los datos del nivel en el pozo 8 y las líneas de flujo del agua freática, se obtuvieron los niveles freáticos para cada estación (Figura 3.7).

En el verano y otoño del 2016 se observa un descenso de los niveles respecto al 2015, con tendencia a recuperarse en el otoño. Esto puede estar relacionado con el déficit hídrico en la época estival y una menor recarga.

Tabla 3.1. Profundidad del nivel freático, con los valores de máxima profundidad por estación y su nivel en msnm.

Pozo	profundidad del nivel freático desde la superficie (metros)				Nivel topográfico (msnm)	altura en metros sobre el nivel del mar (msnm)			
	invierno	primavera	verano	otoño		invierno	primavera	verano	otoño
2	1.61	1.7	2.18	1.84	38.23	36.62	36.53	36.05	36.39
3	1.23	1.46	2.04	0.5	38.22	36.99	36.76	36.18	37.72
4	0.63	0.81	1.68	0.42	37.95	37.32	37.14	36.27	37.53
5	0.75	0.92	1.84	0.51	37.85	37.10	36.93	36.01	37.34
6	1.17	1.28	2.3	1.1	38.15	36.98	36.87	35.85	37.05
7	1.29	1.43	2.12	1.43	37.89	36.6	36.46	35.77	36.46
8	0.6	0.79	1.16	0.77	36.89	36.29	36.1	35.73	36.12
9	0.98	0.73	1.53	0.53	37.46	36.48	36.73	35.93	36.93
10	0.86	0.9	1.24	1.01	36.76	35.90	35.86	35.52	35.75
11	1.86	1.9	2.29	2.06	39.26	37.4	37.36	36.97	37.2
12	1.37	1.45	2.24	0.47	38.82	37.45	37.37	36.58	38.35
13	0.75	0.93	1.81	0.59	38.44	37.69	37.51	36.63	37.85
14	0.88	1.08	1.95	0.64	38.19	37.31	37.11	36.24	37.55
15	0.75	1.02	1.35	0.97	38.77	38.02	37.75	37.42	37.80
16	1.34	1.42	1.73	1.26	39.40	38.06	37.98	37.67	38.14
17	0.32	0.39	0.77	0.21	36.86	36.54	36.47	36.09	36.65
Máximos	1.86	1.9	2.3	2.06					

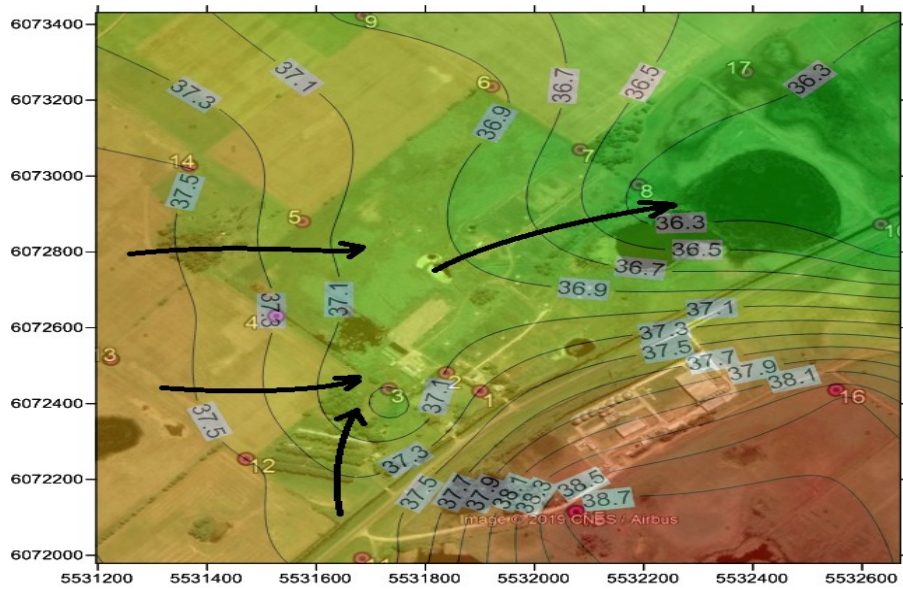


Figura 3.2. Niveles piezométricos (msnm) y flujo del agua freática en invierno

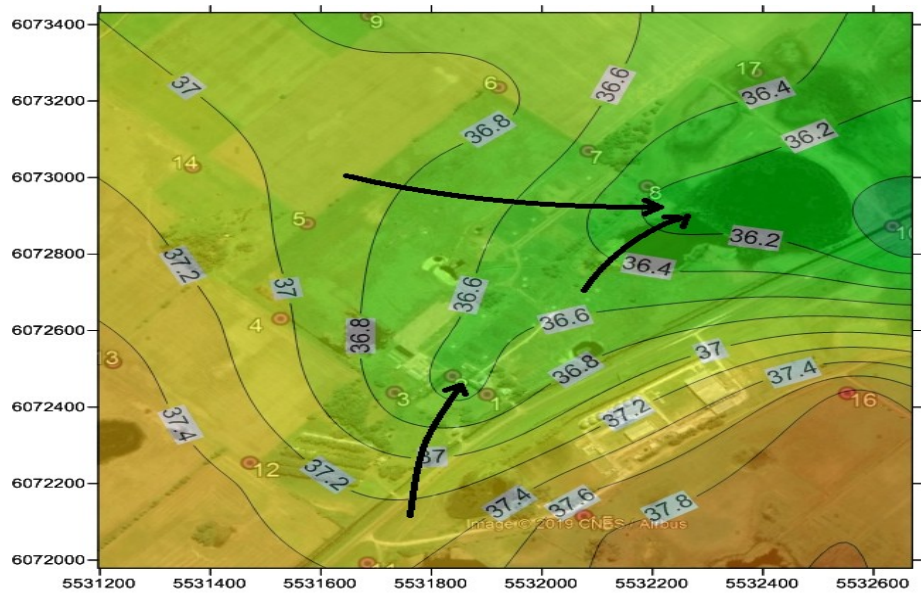


Figura 3.3. Niveles piezométricos (msnm) y flujo del agua freática en primavera

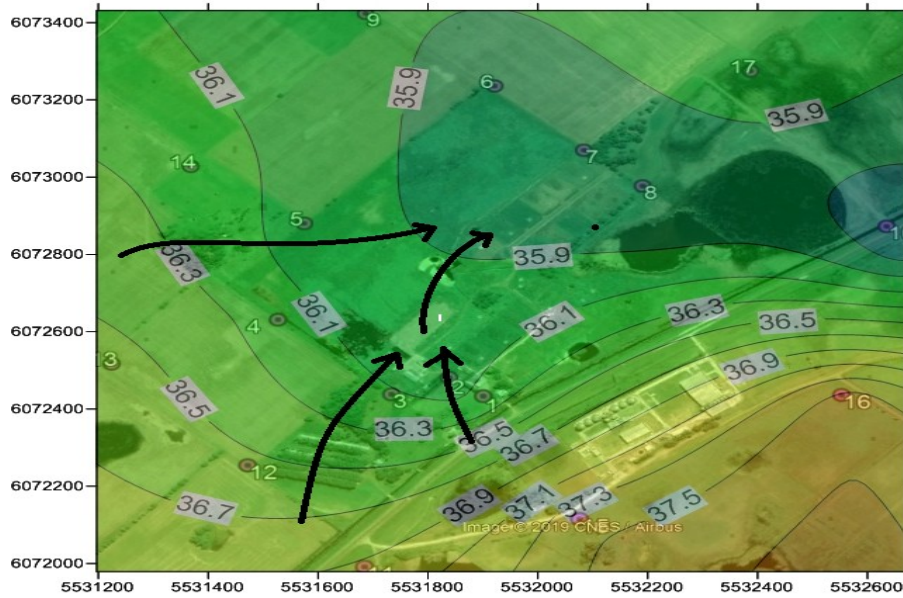


Figura 3.4. Niveles piezométricos (msnm) y flujo del agua freática en verano

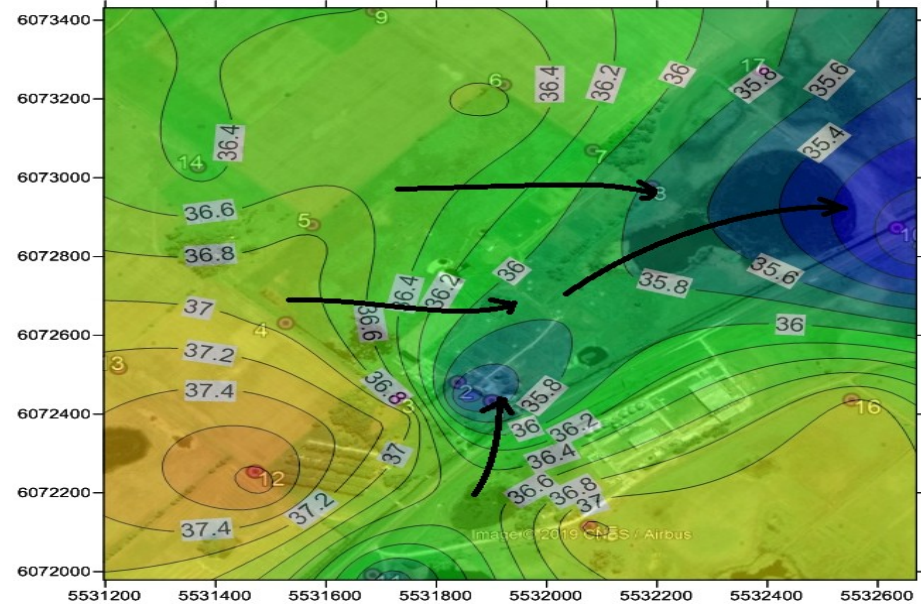


Figura 3.5. Niveles piezométricos (msnm) y flujo del agua freática en otoño

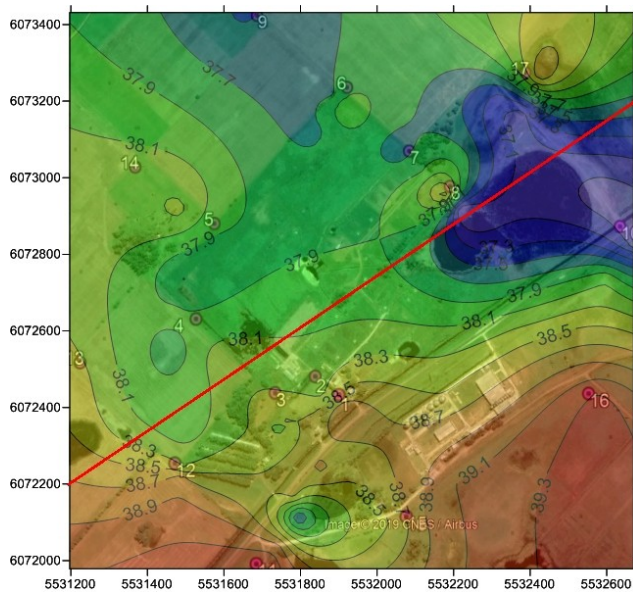


Figura 3.6. Transecta que pasa cerca del pozo 8 (línea roja desde el SO al NE) utilizada para analizar la variación de los niveles en cada estación superpuesta con el mapa de niveles topográficos.

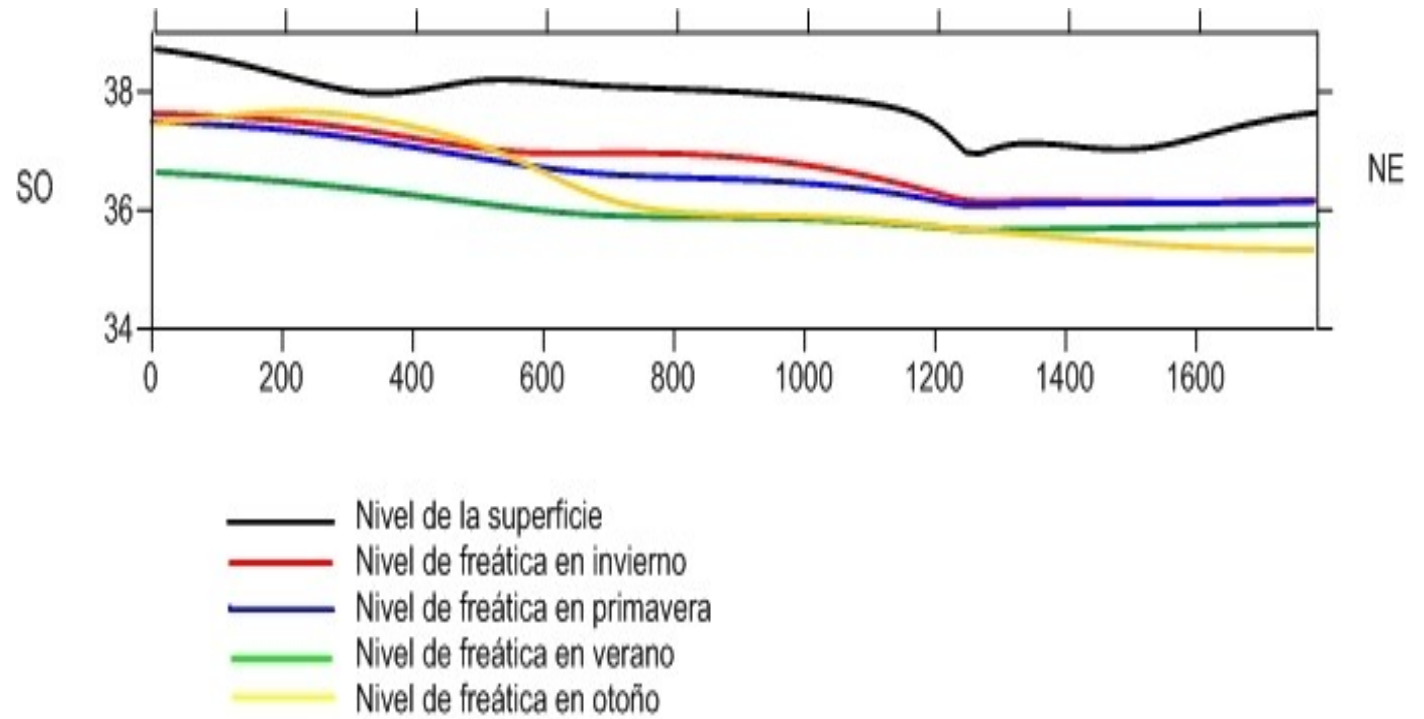


Figura 3.7. Niveles freáticos (msnm) para las distintas estaciones a lo largo de la transecta

3.3 Prospección geoelectrica

Los modelos de resistividad eléctrica en función de la profundidad en cada sitio de sondeo se muestran en la Figura 3.8. El nivel freático se determinó en los modelos a la profundidad donde se observa una disminución de la resistividad eléctrica. Cada modelo tiene asociado, además, la profundidad del nivel freático (NF) medida en el pozo más cercano. También se muestran en cada modelo el valor promedio de la CE de la Zona no saturada (ZNS), el valor promedio CEs de dos muestras compuestas de suelo obtenidas en cada sitio y la CE_{ag} del agua del pozo cercano.

El pozo 16 fue tomado como testigo por estar ubicado en la zona aguas arriba separada del establecimiento por la RN205. Los valores de resistividad eléctrica son acordes con el tipo de sedimento del acuífero freático (Formación Junín: fracciones limo-arcillosa, arcillo limosa, con proporciones subordinadas de la fracción arena).

En los modelos obtenidos cercanos a los corrales se observa un descenso de resistividad en ZNS (en pozo 8, 10 y en el 4) y ZS (pozo 2, 6, 8, 13 y 10), respecto del testigo del pozo 16.



Figura 2.9. Localización de los sondeos geoelectricos (líneas rojas).

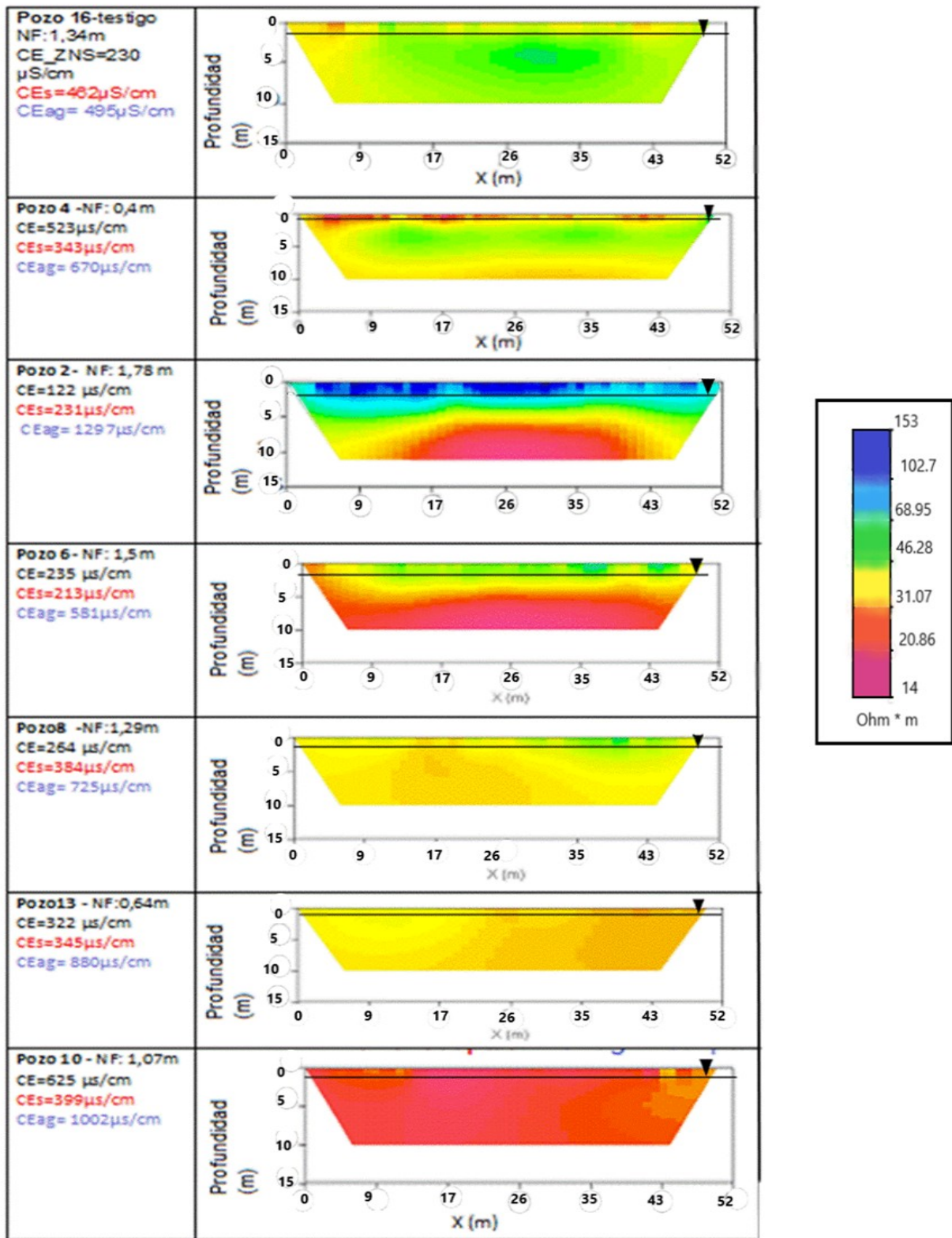


Figura 3.8. Modelos de resistividad eléctrica en $\text{ohm}\cdot\text{m}$ en sondeos cercanos a los pozos. Las zonas en rojo son de alta CE. En los cuadros laterales, la CE es el valor obtenido del modelo en la ZNS, CEs es la CE del suelo (medida en laboratorio), NF es la profundidad del nivel freático medido en el pozo, y CEag la conductividad de la muestra de agua. Se indica el nivel freático con la línea continua y el triángulo

Un valor alto de resistividad en el sondeo del pozo 2 en la ZNS podría deberse a la presencia de árboles paralelos a la transecta del sondeo que estarían disminuyendo la humedad del suelo.

En la tabla 2.4, se presenta la resistividad eléctrica de la ZS en orden decreciente, es decir en el sentido de aumento de la CE según los modelos geoelectricos

Tabla 3.2. Resistividad de la zona saturada, expresada en Ohm*m

Pozo	Resistividad de ZS en ohm*m
16 (testigo)	46
4	46 a 31
2	46 a 14
6	46 a 14
13	31
8	31
10	14

El orden decreciente de la topografía y el sentido aproximado de flujo subterráneo, según lo visto anteriormente, sería: pozo 16, pozo 2, pozo 13, pozo 4, pozos 8 y 6, pozo 10. Según la tabla 2.4, el pozo 8 y 10 y parte del pozo 6 tienen menor resistividad o sea mayor conductividad eléctrica que el pozo 16.

Es decir, en términos generales, en el sentido del flujo subterráneo y también de la topografía se observa un aumento de la CE de la ZS en los modelos, asociado con la salinización del agua subterránea. El sondeo del pozo 10, situado en el bajo del NE, es el más afectado en cuanto a su alta CE tanto en ZNS como en ZS. El pozo 2, muy cercano a los corrales, fue otro de los más impactados con CE alta en la ZS.

En el pozo 6 situado hacia el norte no se ve incrementada la CE ni en el agua, ni en el suelo.

Los resultados de resistividad eléctrica o su inversa la conductividad obtenidos por los sondeos geofísicos muestran un incremento de la salinización de la ZNS y del acuífero freático en la dirección del flujo subterráneo, luego de atravesar la zona de los corrales, coincidente también con la topografía hacia el bajo del NE.

3.4 Balance hidrológico

Con los datos procesados de la Estación meteorológica (EMA-CFR) (Tabla 3.3), se representa el climatograma de Saladillo (Figura 3.9). Se muestran también, los resultados de la evapotranspiración, según los modelos de Thornthwaite (Tabla 3.4), y el balance hídrico correspondiente al periodo 2011-2015. (Tabla 3.5 y Figura 3.10).

Tabla 3.3. Datos usados en el programa de aplicación de agrometeorología para el cálculo del balance hídrico 2011-2015.

Periodo	Mes	T° media	Precipitación (mm)	T° min media	T° max media	Heliofanía efectiva	Hum Relativa (%)	Presión atm (hPa)	Vel viento (Km/h)
2011-2015	Enero	23.29	92.49	22.33	23.65	14.3	67	1003.87	4.15
2011-2016	Febrero	21.47	103	21.16	21.78	13.5	74.1	1007.1	2.82
2011-2017	Marzo	18.7	116.6	18.38	19.02	12.4	75.6	1008.84	2.19
2011-2018	Abril	16.11	128.66	15.81	16.42	11.3	76.3	1009.92	2.41
2011-2019	Mayo	12.82	116.56	12.56	13.08	10.3	82.9	1011.57	2.01
2011-2020	Junio	9.3	40.39	9.02	9.58	9.8	80.1	1011.39	1.82
2011-2021	Julio	8.4	63.47	8.12	8.67	10.2	79.7	1012.8	2.57
2011-2022	Agosto	10.88	87.77	10.61	11.14	10.9	78.4	1011.82	3.64
2011-2023	Septiembre	12.81	65.94	12.53	13.09	12	73.3	1011.57	4.46
2011-2024	Octubre	14.53	95.6	15.42	15.97	13.1	76.6	1009.74	3.93
2011-2025	Noviembre	19.42	114.81	19.11	19.74	14.1	70.52	1007.44	3.4
2011-2026	Diciembre	22.48	76.18	22.12	22.84	14.6	66.27	1004.48	2.69

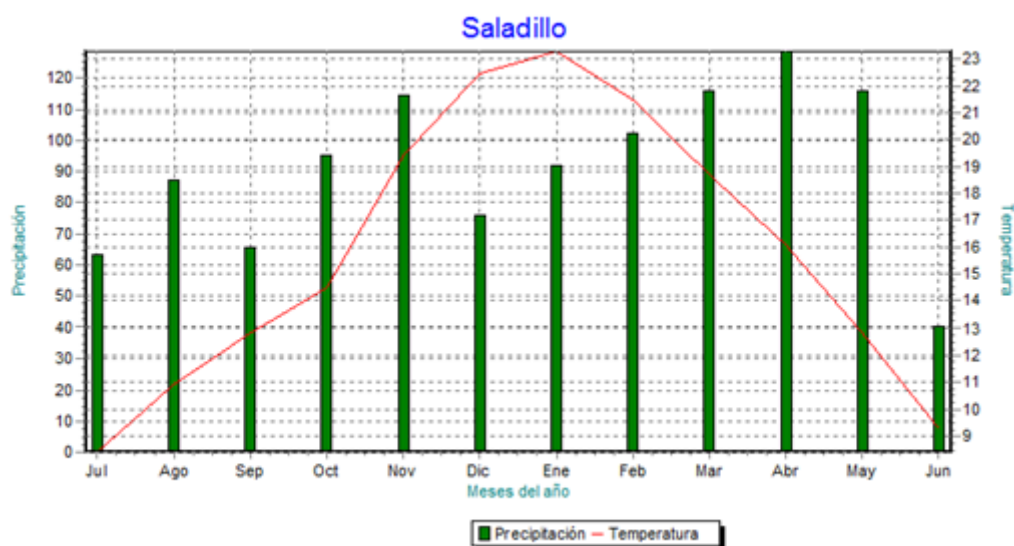


Figura 3.9 Climatograma de Saladillo

Tabla 3.4. Resultados de los cálculos de Evapotranspiración por los modelos de Thornthwait

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
ET Thornthwaite	130	98	80	55	36	20	17	29	40	63	93	127

Tabla 3.5. Balance hidrológico de Saladillo, periodo 2011-2015. Estación EMA CFR

Balance hidrológico climático Saladillo 2011-2015												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pp	92.5	103	116.6	128.7	116.6	40.4	63.5	87.8	65.9	95.6	114.8	76.2
ETP	130	98	80	55	36	20	17	29	40	63	93	127
Pp-ETP	-37	5	37	74	81	20	47	59	26	33	22	-51
Almacenaje	66	71	108	130	130	130	130	130	130	130	130	88
Δ almacenaje	-22	5	37	22	0	0	0	0	0	0	0	-42
ETR	115	98	80	55	36	20	17	29	40	63	93	119
Deficit	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Excedente	0	0	0	51	81	20	47	59	26	33	22	0

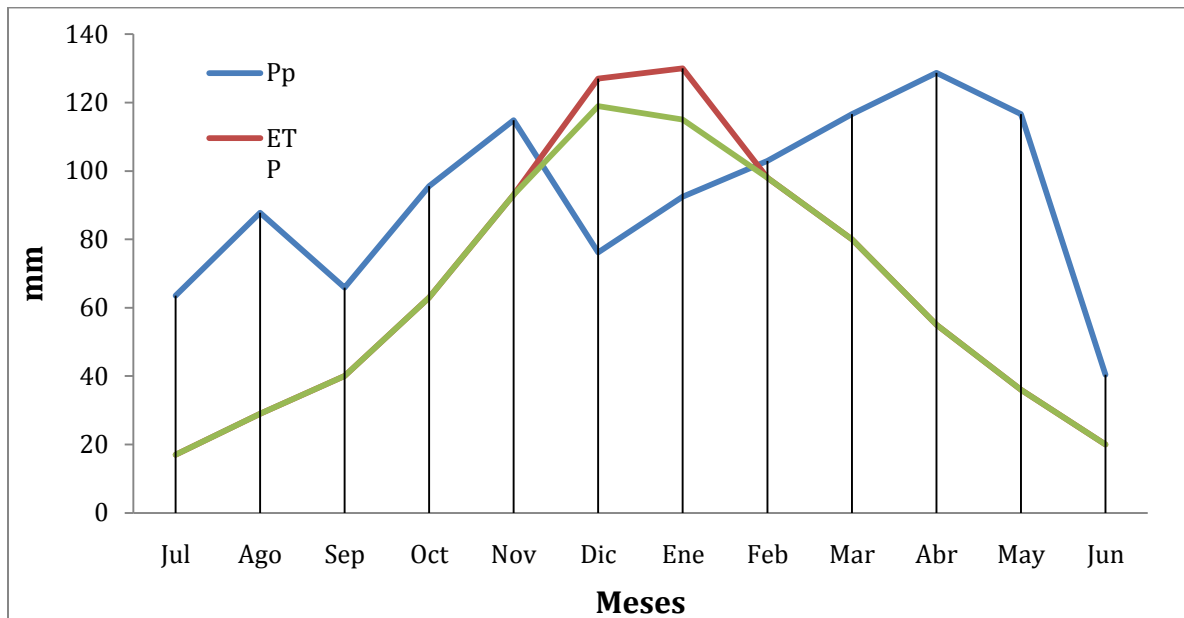


Figura 3.10. Balance hidrológico donde puede observarse el déficit de agua en los meses de noviembre, diciembre y enero, del periodo 2011-2015. Estación EMA CFR.

Para el periodo 2011-2015, el balance hidrológico (Figura 3.10) y la variación del agua del suelo (Figura 3.11), se diferencian levemente del periodo 1989-1993. La precipitación promedio anual, del periodo 2011-2015, es de 1101.6 mm., la ETP, de 788 mm y la ET real de 759 mm. Mientras que para el periodo 1989-1993, la precipitación promedio anual es de 1099 mm., la ETP de 833 mm y la ET real de 823 mm. El periodo actual, sólo muestra deficiencia de agua en los meses de diciembre y enero (Figura 3.10). Sólo en enero llega al punto de marchitez permanente (Figura 3.11). De abril a noviembre se presentan excesos de agua y el suelo puede estar a su capacidad de campo.

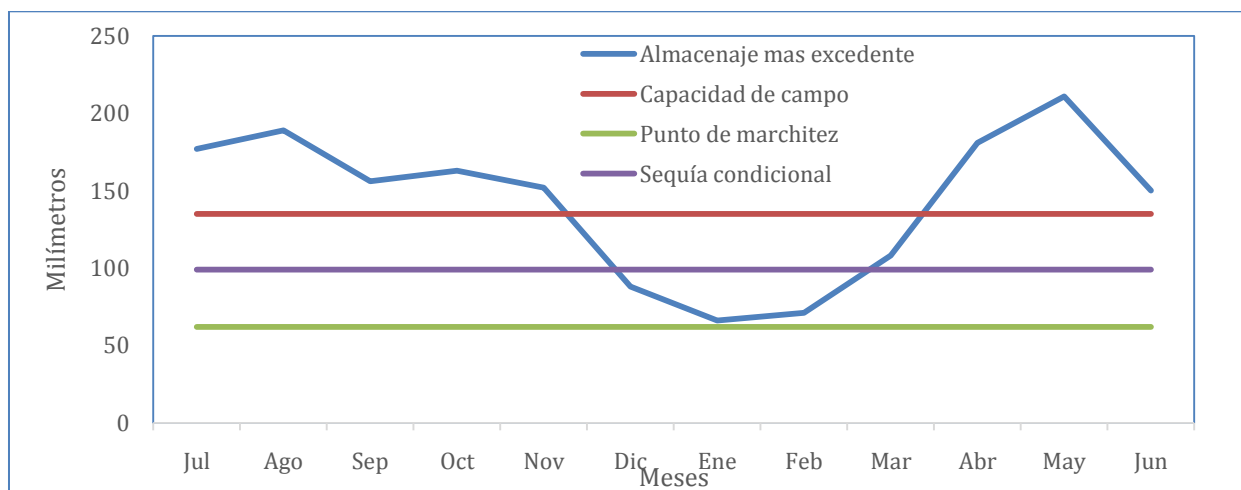


Figura 3.11. Variación de agua en el suelo donde muestra excesos en el periodo 2011-2015. Datos extraídos de EMA-CFR

3.5 Recarga de la freática

Para el cálculo de la recarga, como se mostró en la sección 2.f, se usó la ecuación 1, donde es necesario conocer la precipitación efectiva o escorrentía. Teniendo en cuenta el flujo superficial de agua cuya distribución se estimó con el programa SURF 10, así como también la cobertura demostrada por las imágenes satelitales del Google Earth en invierno y verano, la zona de estudio se dividió en subáreas, (Figuras 3.11 y 3.12). También se utilizó la información del tipo de suelo, extraída del mapa de suelos del INTA (Figura 2.6).

Los suelos presentan una infiltración lenta y escurrimiento medio a lento en las subáreas 1, 2 y 3, por lo que se los agrupa, según modelo de la NSCS (Tabla I.3, anexo 1), en los de tipo C. En cambio los corrales se los considera de tipo D, ya que el suelo está compactado por el pisoteo y la formación de costras por las excretas de los animales (Tabla II.b. anexo 2).

Una vez obtenido el agrupamiento por tipo de suelo, se caracterizan las subáreas de acuerdo con el uso del suelo o cobertura, (Tabla I.d. anexo 1), en las dos estaciones, para obtener el umbral de escorrentía o P_0 . La subárea 1 presenta tres tipos de cobertura, una parte con cultivo en verano y barbecho en invierno, otra con masa forestal (monte de acacia), y otra es pastizal con agua semipermanente. Las subáreas 2 y 3 pastizal o pradera con diferente desarrollo, la 4 son los corrales y la 5 es el bajo con agua permanente. De dicha tabla se extrae el umbral de escorrentía o CN (Número de Curva), y se elabora una nueva tabla expresando las subáreas y el umbral determinado (tabla II.d. anexo 2). Como la escorrentía, está supeditada también a la humedad del suelo, se ajustó el CN de acuerdo con las precipitaciones previas, de 5 días, a la toma de muestras (Tabla 3.7). Usando la tabla I.5 del anexo 1, se estima la humedad previa del suelo la cual se muestra en la Tabla 3.10, y con la tabla I.f. anexo 1 se ajusta el umbral de escorrentía o CN, obteniendo de esta manera el P_0' (Tabla II.c. anexo 2), tal como se describió en la sección 2.f.

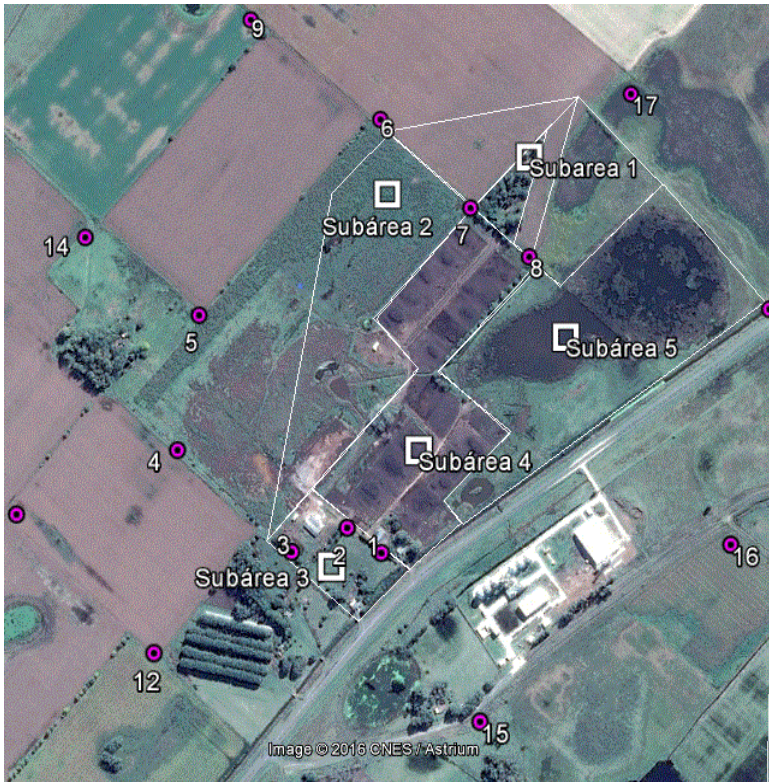


Figura 3.12. Imagen satelital del 4 de agosto 2016 con las subáreas delimitadas, con la cobertura de invierno.

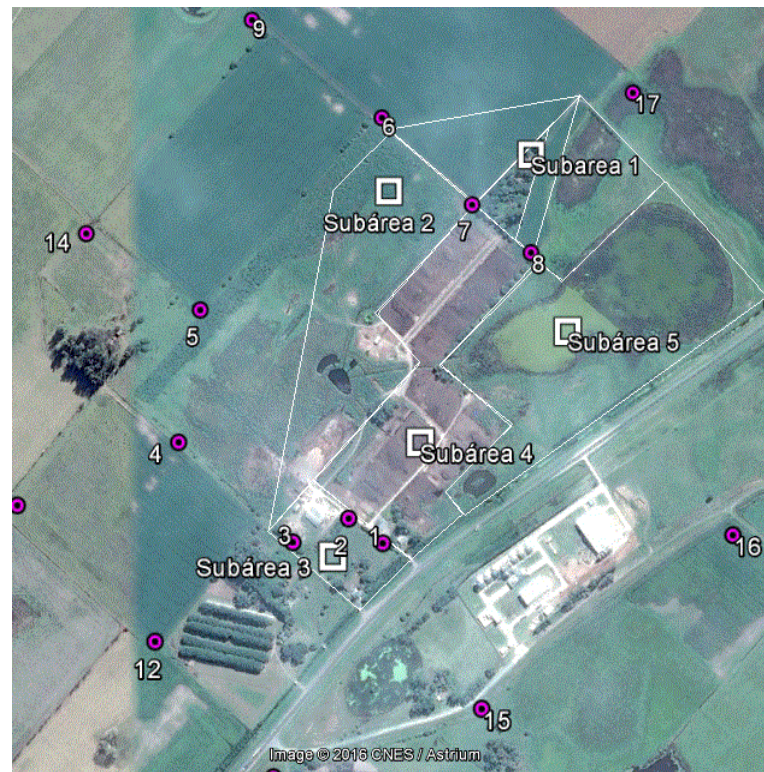


Figura 3.13. Imagen satelital del 3 de enero del 2016, con la cobertura de verano

Tabla 3.6. Datos para calcular la humedad previa del suelo con datos extraídos de la EMA- CFR

Fecha de toma de muestras	15/09/2015	07/11/2015	25/02/2016	04/06/2016
Fecha de la Precipitación más cercana	13/08/2015	29/10/2015	17/02/2016	29/05/2016
Precipitación	35,5	23,09	47,99	30,21
Precipitación 5 días antes de la precipitación más cercana	138,67	13,96	1,77	1
ET	11,61	39,14	29,76	12,19

Tabla 3.7. Cálculo de precipitación efectiva, Pe, para cada estación del año.

	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Pe	26.72	17.35	29.10	12.11
	24.12	6.57	8.08	6.44
	20.66	2.01	2.81	1.81
	14.64	0.03	0.07	0.01
	13.18	0.52	0.27	0.33
	13.18	0.00	0.02	0.33
	21.47	2.13	2.95	0.74
Pp	30.9	37.05	40.14	30.21
	30.9	37.05	40.14	30.21
	30.9	37.05	40.14	30.21
	30.9	37.05	40.14	30.21
	30.9	37.05	40.14	30.21
	30.9	37.05	40.14	30.21
	30.9	37.05	40.14	30.21
P ₀	0.77	5.28	2.28	5.28
	1.34	12.91	12.91	9.35
	2.23	21.36	21.36	16.91
	4.33	39.55	36.55	31.54
	5.00	48.00	48.00	38.00
	5.00	38.00	38.00	38.00
	2.00	21.00	21.00	21.00

Tabla 3.8. Evapotranspiración potencial en días previos a la toma de muestras, en cada estación del año.

ETR			
Invierno	Primavera	Verano	Otoño
11.61	39.14	29.76	19.14

Tabla 3.9. Determinación de la humedad previa a la precipitación anterior a la toma de muestras.

Fecha	13/8/15	30/10/15	17/2/16	27/5/16
Pp (mm)	138.67	13.96	1.77	1
Humedad previa	Húmedo	Seco	Seco	Seco

Se ha considerado que en el periodo de invierno el suelo estaba húmedo, mientras que en las otras tres estaciones estaba seco.

Cada subárea posee un valor de umbral de escorrentía o CN. Como la subárea 1 posee tres sectores, se realizó un prorrateo de acuerdo con la proporción de la extensión del sector y su CN. (Tabla II.d. anexo 2).

Luego se procedió a calcular la precipitación efectiva o escorrentía P_e (ec. 2), (Tabla 3.8). Empleando la ec. 1, para determinar la recarga, se suman los datos de Evapotranspiración, de la EMA-CFR, de los días previos a la toma de muestra (Tabla 3.8), coincidentes a los que se tomó como precipitaciones diarias previas.

Se calcularon los valores de recarga evaluada en las subáreas definidas anteriormente, entre la fecha de la precipitación más cercana a la toma de muestra y el día de la toma, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.11.

Tabla 3.10. Recarga temporal, donde la 1º fecha es la precipitación más cercana a la toma de muestra, y la 2º fecha es cuando se tomaron las muestras

	Invierno				Primavera				Verano				Otoño			
Fecha	13/08/2015- 15/9/2015				29/10/2015-7/11/2015				17/02/2016-25/02/2016				29/05/2016-4/6/2016			
Subárea	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pp (mm)	30.9				37.05				40.14				30.21			
Pe (mm)	14.6	13.2	13.2	21.5	0.03	0.52	0.00	2.13	0.07	0.27	0.02	2.95	0.01	0.33	0.33	0.74
ET (mm)	11.61				39.14				29.76				19.14			
Recarga (mm)																
(Déficit en rojo)	4.69	6.09	6.09	2.21	2.12	2.61	2.09	4.22	10.3	10.1	10.4	7.43	11.1	10.7	10.7	10.3

El balance hidrológico (Tabla 3.5) muestra que la diferencia en el almacenaje, que se interpreta como la recarga, se da entre los meses de febrero y abril. Los niveles freáticos (Figura 3.7), muestran un descenso del nivel en verano que se recupera en otoño, lo que se condice con la recarga previa según el balance hidrológico, mientras que el gráfico de agua en el suelo (Figura 3.11) muestra deficiencia entre los meses de diciembre a febrero.

Respecto a la recarga temporal, no hubo recarga en la primavera, cerca de la fecha de toma de muestras, mientras en otoño, se produjo la mayor recarga, similar a la de verano.

3.6. Hidrogeoquímica y microbiología

3.6.1. Resultados de los análisis físico-químicos del agua del acuífero freático.

Los resultados de las concentraciones de nitratos, por pozo y estación se muestran en la Figura 3.14 (Tabla II.e. del anexo 2). Por la interpolación de mapas con kriging se observa que aumentan los valores desde el SO hacia el NE que es la zona hacia donde se dirige el flujo subterráneo luego de pasar por los corrales.

Las Figuras 3.16 a 3.19 presentan los mapas de isolíneas de concentración de nitratos en cada estación. De acuerdo con estos resultados los pozos que tienen más concentración de nitratos son el 6, 7 y 8. Se observan dos focos de mayor concentración, uno al noreste, que se puede deber a la componente del flujo de agua subterránea proveniente de los corrales hacia esa dirección, y el otro foco, al noroeste, probablemente asociado con la presencia cercana de un cementerio de animales lindante al pozo 6. Si bien la mayor concentración de nitratos se encuentra en primavera hacia el NE, hacia el bajo y el canal, puede ser observado de manera más explícita en otoño (Figura 33), donde se visualiza la incidencia del elemento, en el pozo 8.

Respecto al cálculo estadístico, la mediana (Figura 3.15) muestra una disminución en las concentraciones de nitratos desde un máximo en invierno de 2015 a un mínimo en otoño de 2016, marcando una estacionalidad de este compuesto, con un aumento en la dispersión de datos de concentración, en la época primaveral. Así mismo el 50% de los datos, por encima de la mediana, que equivale a cuatro pozos, muestran, en todas las estaciones, una mayor dispersión de los valores.

Los resultados de la concentración de fósforo en cada pozo por estación (Figura 3.20) presentan un gradiente acorde al flujo de agua subterránea. El pozo 8 es el de mayor concentración, pero los pozos 6 y 7 no muestran el mismo comportamiento que para los nitratos, siendo la concentración de fósforo más baja que en los pozos 2 o 4. De acuerdo con los cuartiles, la primavera es la estación que presenta mayor concentración de fósforo y dispersión en los valores (Figura 3.21). En otoño, se presenta un valor atípico de concentración de fósforo, en el pozo 8, al igual que para los nitratos. En invierno el pozo 10 muestra valores anómalos al igual que el pozo 8 en otoño. En las figuras 3.22 a 3.25 se presentan las isolíneas interpoladas de

fósforo para las cuatro estaciones. Se observa que la concentración de fósforo sigue el gradiente hidráulico hacia el noreste, al igual que el nitrato y en otoño se visualiza claramente las concentraciones elevadas en cercanías del pozo 8.

Los parámetros conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH, fueron medidos en los dieciséis pozos. Los resultados de la conductividad eléctrica (CE), por pozo y estación, muestran (Figura 3.26) un aumento, así como los nitratos y fósforo, en el pozo 8.

Si bien, la CE fue mayor en invierno (Figura 3.27), no presentó valores atípicos. En las Figuras 3.28 a 3.31 se muestran los mapas de CE por estación donde se observa que la concentración de iones que contribuyen a la CE, en las diferentes estaciones, aumenta en el sentido del flujo subterráneo, con un valor máximo en el pozo 8. Siendo este el que registra valores atípicos en tres estaciones. El 50% de los pozos presentan una menor dispersión de valores de CE, que decrece hacia el verano y aumenta en otoño.

La presencia de Oxígeno Disuelto en agua, produce un medio oxidante que afecta el estado de oxidación de algunos elementos, así como la actividad de los microorganismos. Se consume con facilidad si existen sustancias oxidables, tales como materia orgánica, Fe^{2+} , NH_4^+ , NO_2^- , etc., en especial por acción biológica. El agua puede estar incluso sobresaturada en oxígeno, pero en la mayoría de las aguas subterráneas, el oxígeno se consume y presentan entre 0 y 5 ppm, frecuentemente por debajo de 2 ppm. Su ausencia puede ser origen de malos gustos (fermentación anaerobia) (Cabrera Sansores, 2000).

Los resultados de oxígeno disuelto (Figura 3.32), muestran una disminución de la concentración, en los pozos 7, 8 y 9. Hay mayor dispersión de datos en invierno y menor en verano, pero con datos atípicos (Figura 3.33). Las Figuras 3.34 a 3.37 muestran las isóneas de oxígeno disuelto. Los pozos 7 y 8 se encuentran ubicados aguas abajo del emprendimiento, y las concentraciones más bajas de oxígeno disuelto están por debajo de los corrales. Este elemento va en aumento, al contrario de la concentración de nitratos (ver Figura 3.15) y Fósforo (ver Figura 3.20), hacia el otoño. En los pozos del 2º anillo hay mayor concentración de Oxígeno disuelto, con respecto a los pozos 5 y 6 del 1º anillo.

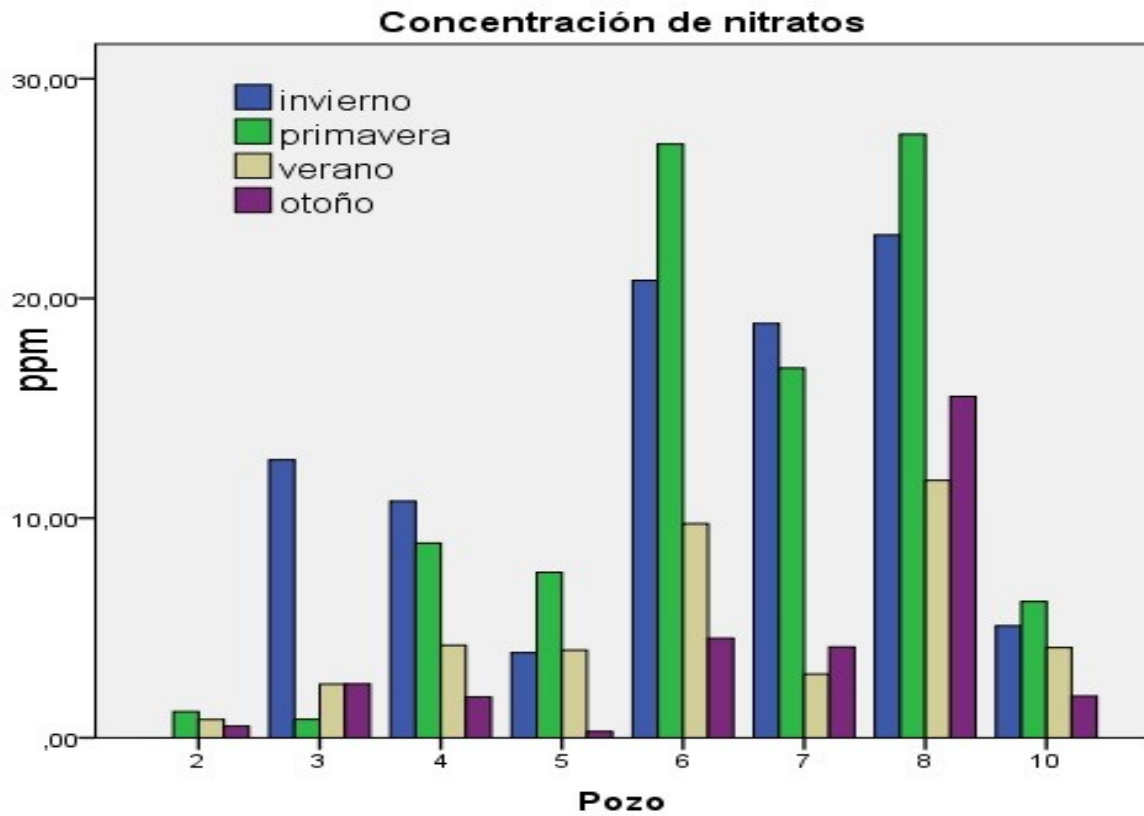


Figura 3.14. Concentración de nitratos, por pozo y estación

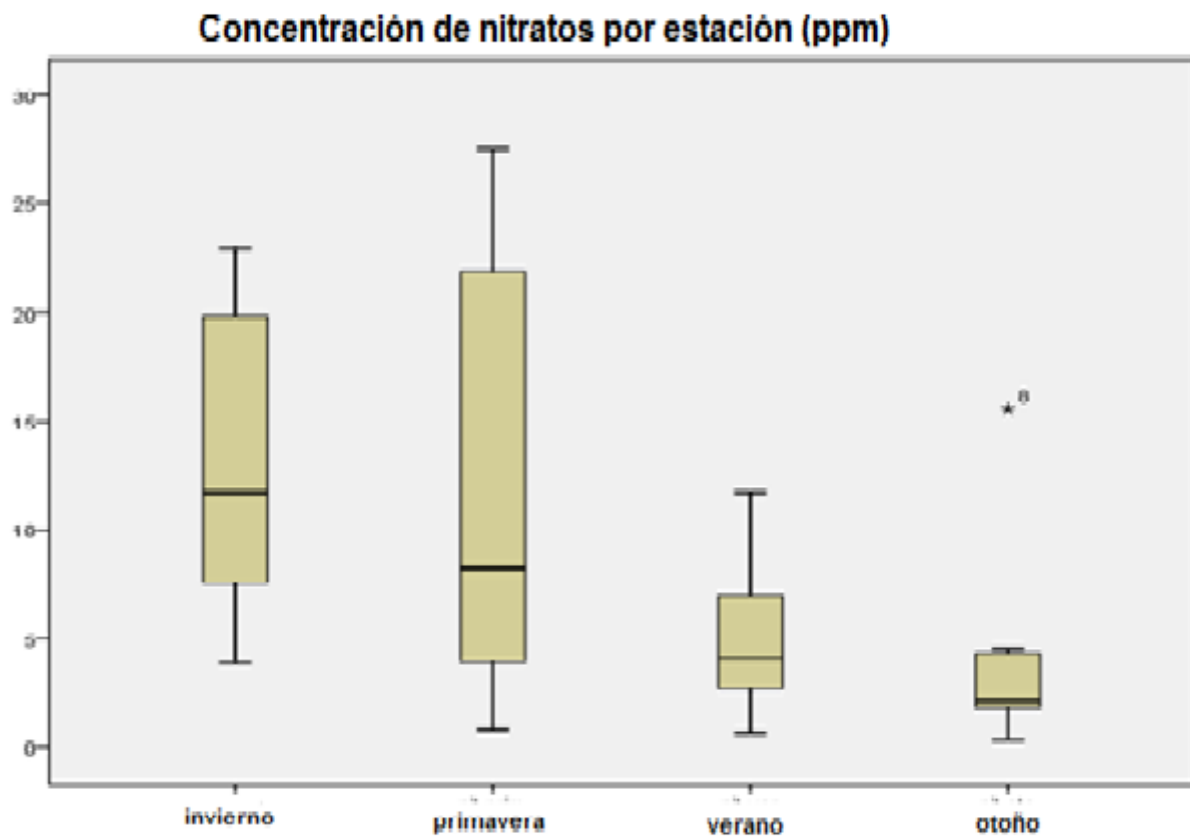


Figura 3.15. Gráfico de caja, donde se visualizan valores atípicos de concentración de nitratos

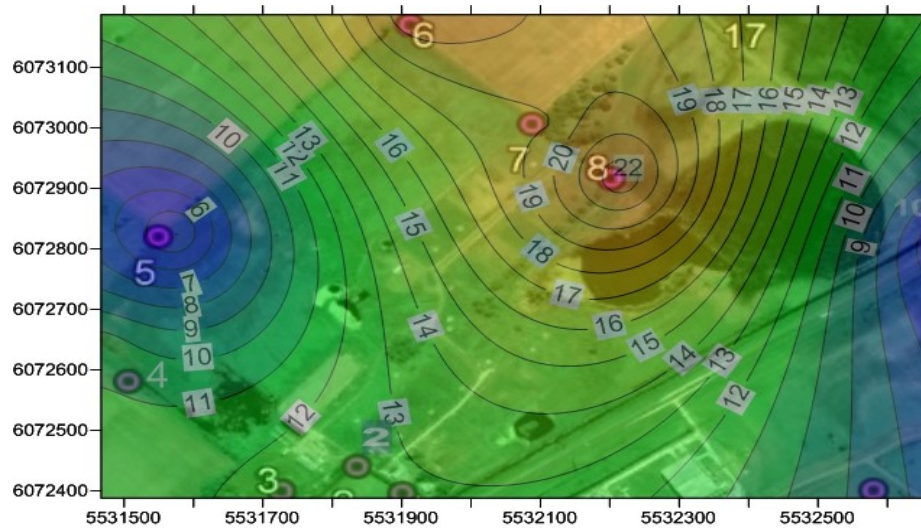


Figura 3.16. Isolíneas de concentración de nitratos (ppm) en invierno

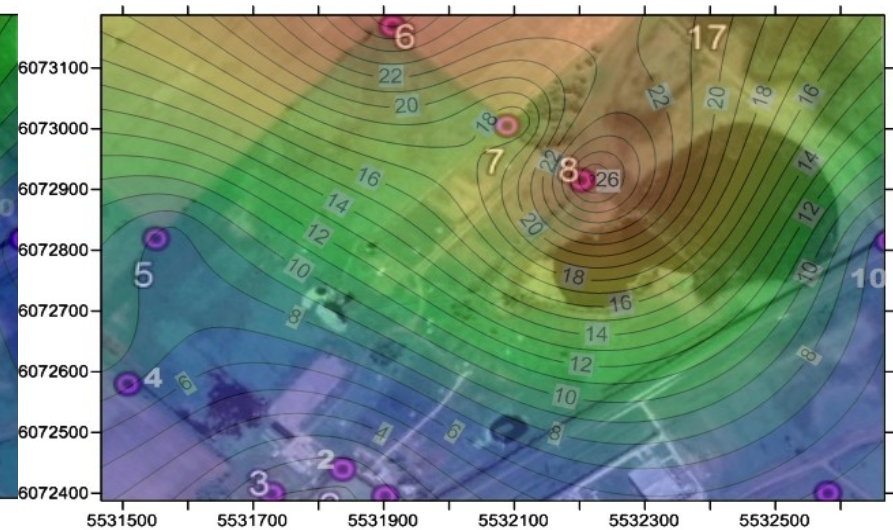


Figura 3.17. Isolíneas de concentración de nitratos (ppm) en primavera

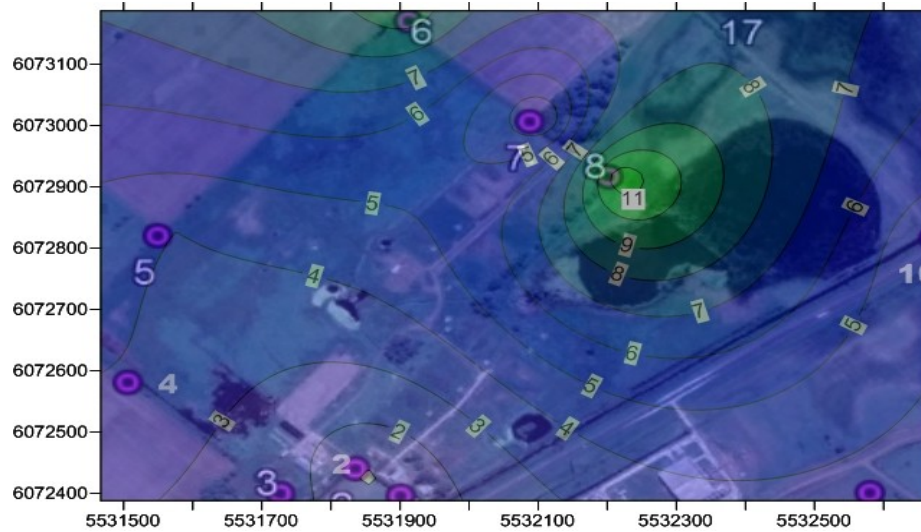


Figura 3.18. Isolíneas de concentración de nitratos (ppm) en verano.

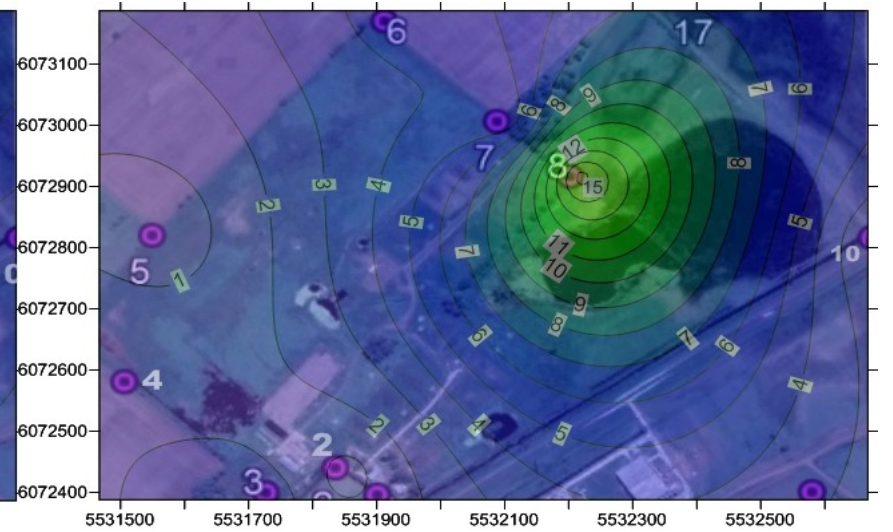


Figura 3.19. Isolíneas de concentración de nitratos (ppm) en otoño.

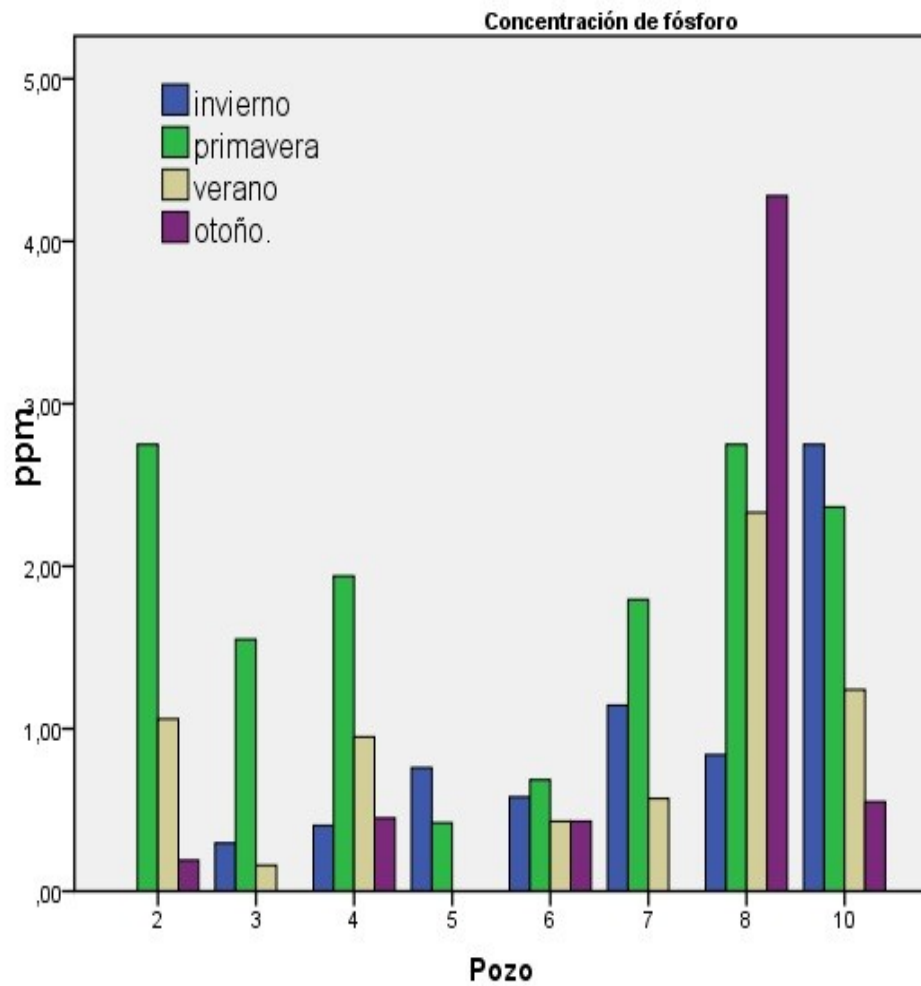


Figura 3.20 Concentración de fósforo por pozo y por estación.

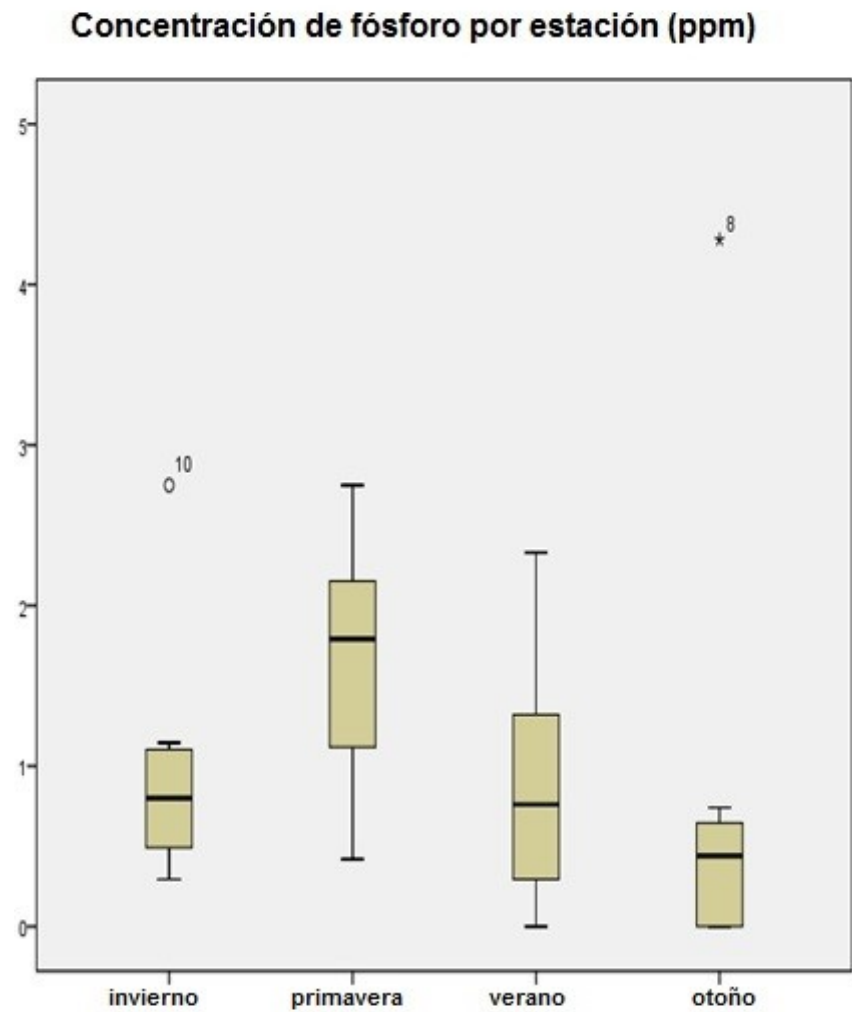


Figura 3.21. Gráfico de caja, donde se visualizan valores atípicos de concentración de fósforo

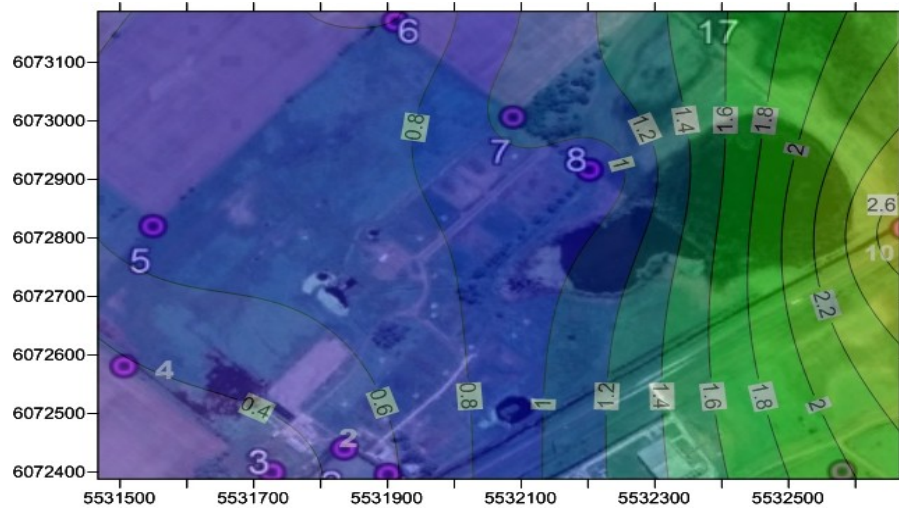


Figura 3.22. Isolíneas de concentración en ppm de fósforo en invierno

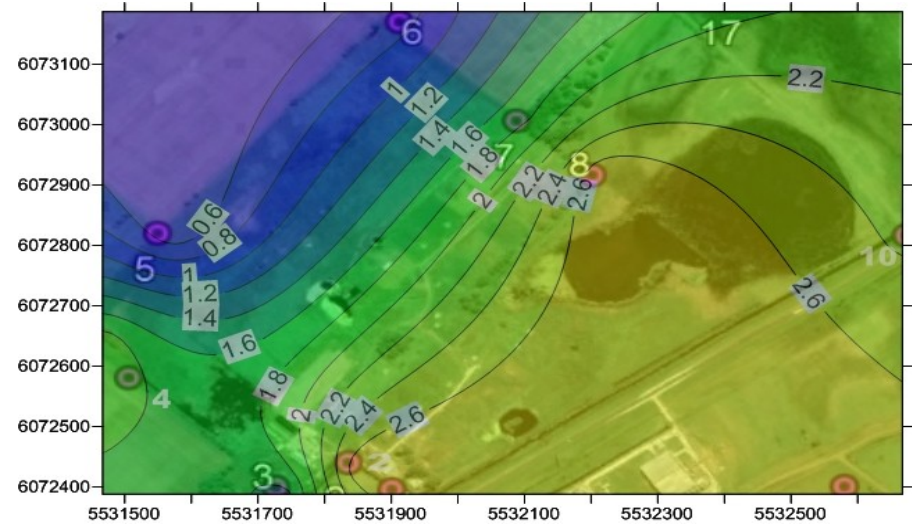


Figura 3.23. Isolíneas de concentración en ppm de fósforo en primavera

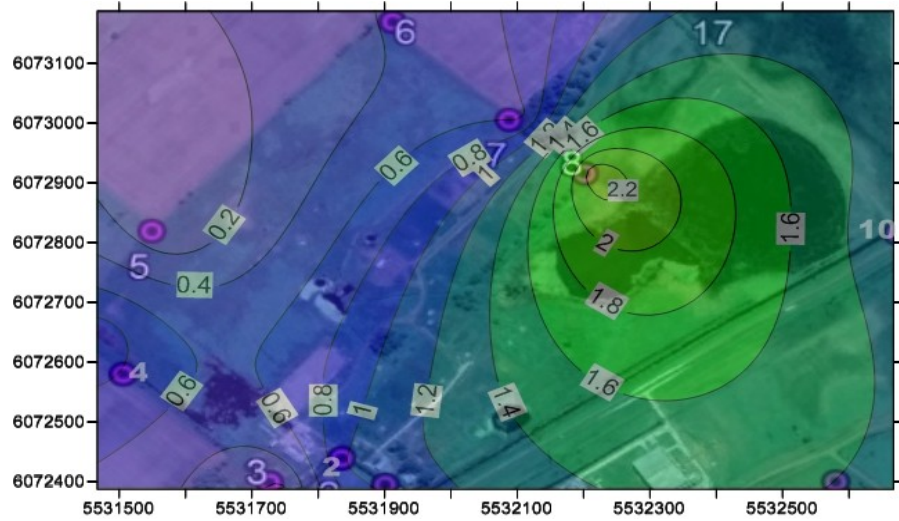


Figura 3.24. Isolíneas de concentración en ppm de fósforo en verano

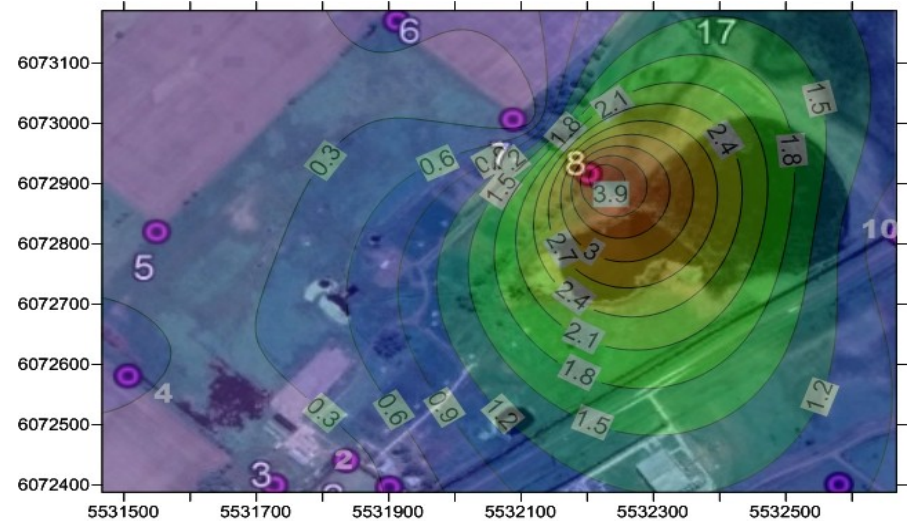


Figura 3.25. Isolíneas de concentración en ppm de fósforo en otoño.

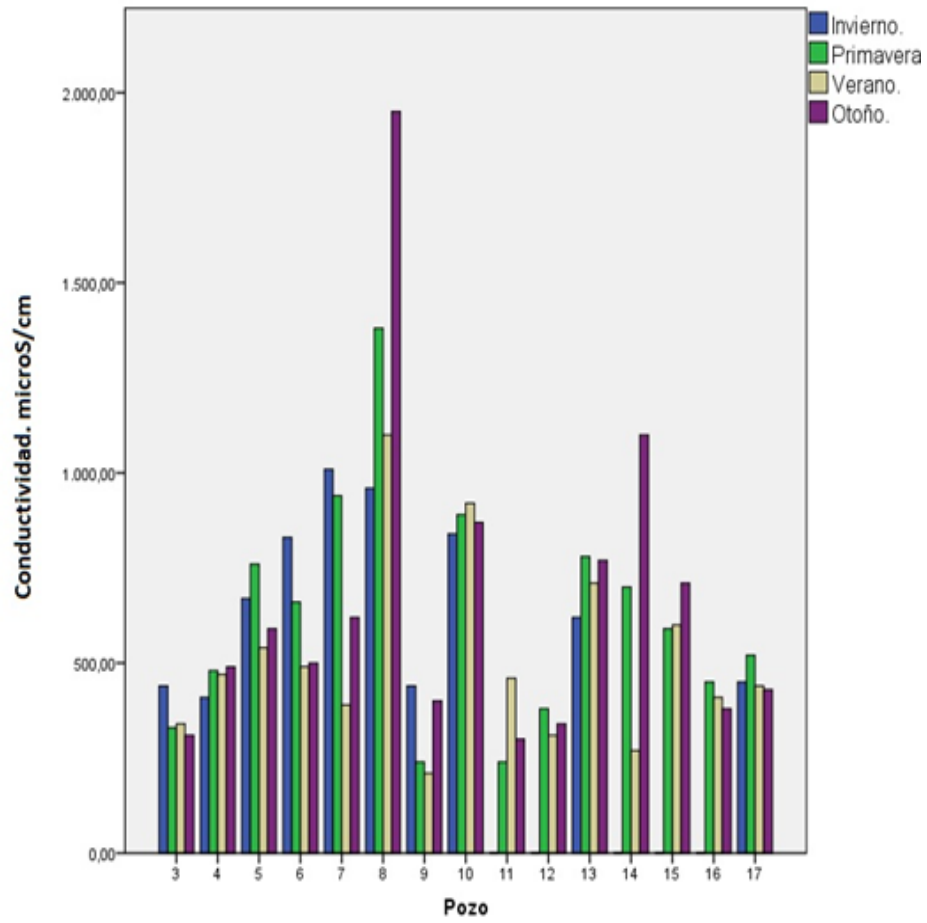


Figura 3.26. Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$, por pozo y estación

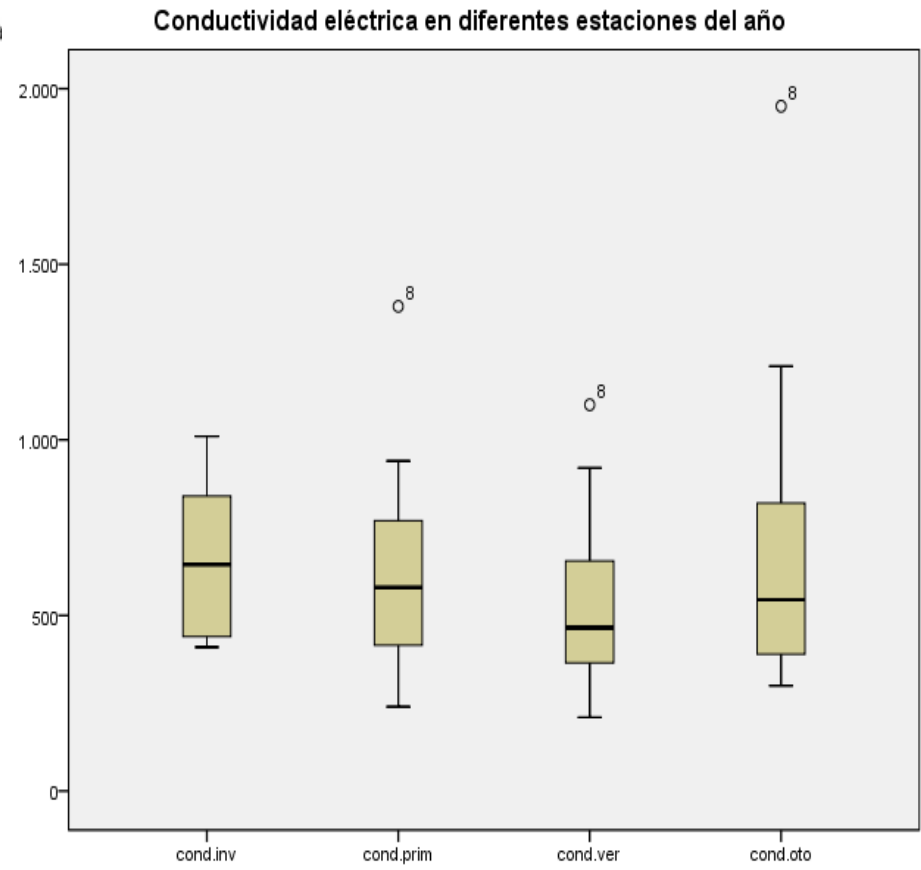


Figura 3.27. Gráfico de caja, donde se visualiza valores atípicos de CE.

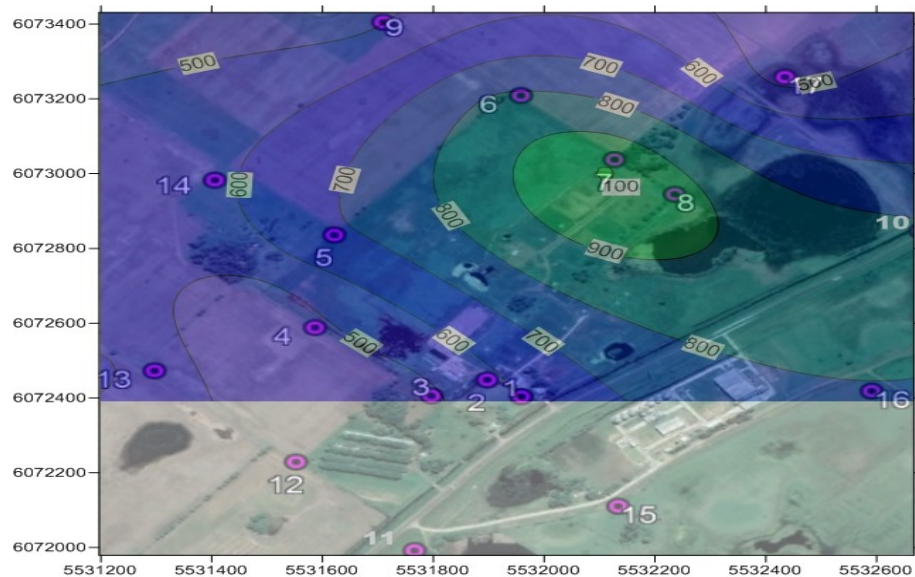


Figura 3.28. CE en invierno.

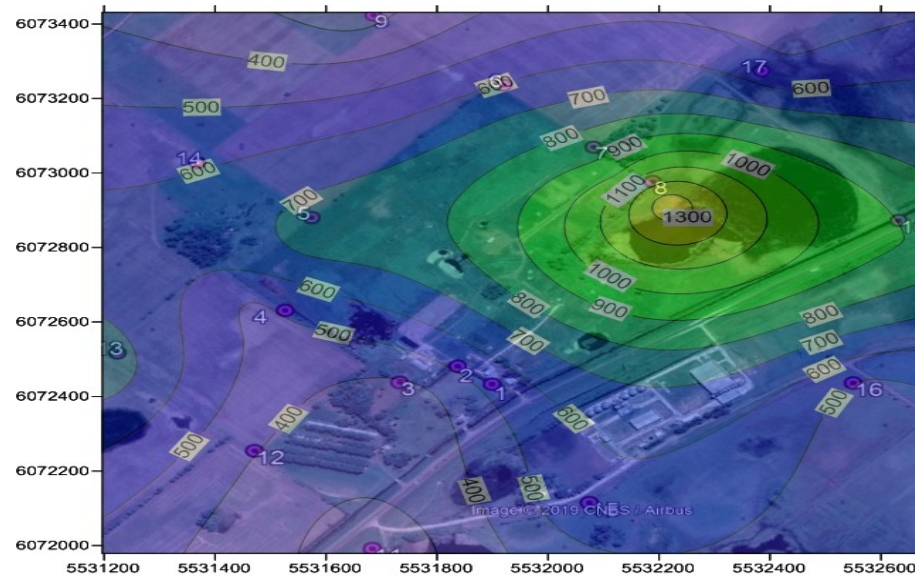


Figura 3.29. CE en primavera.

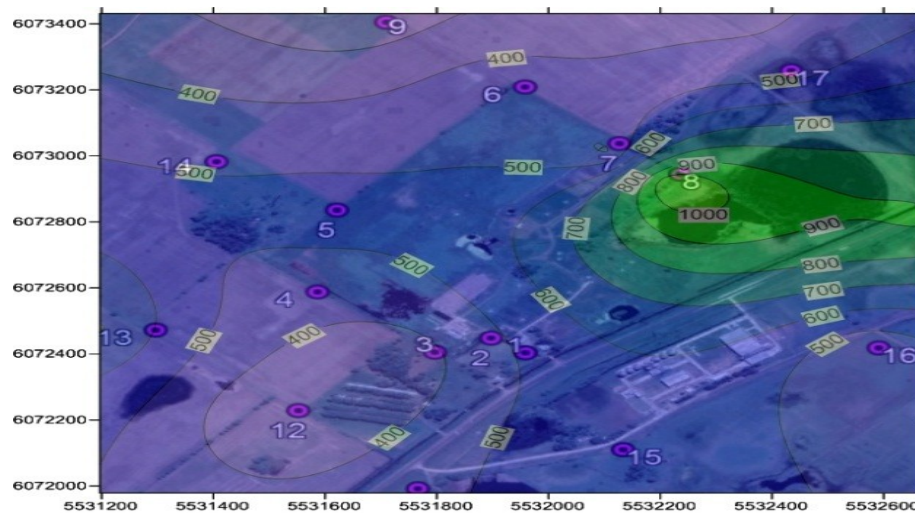


Figura 3.30. CE en verano.

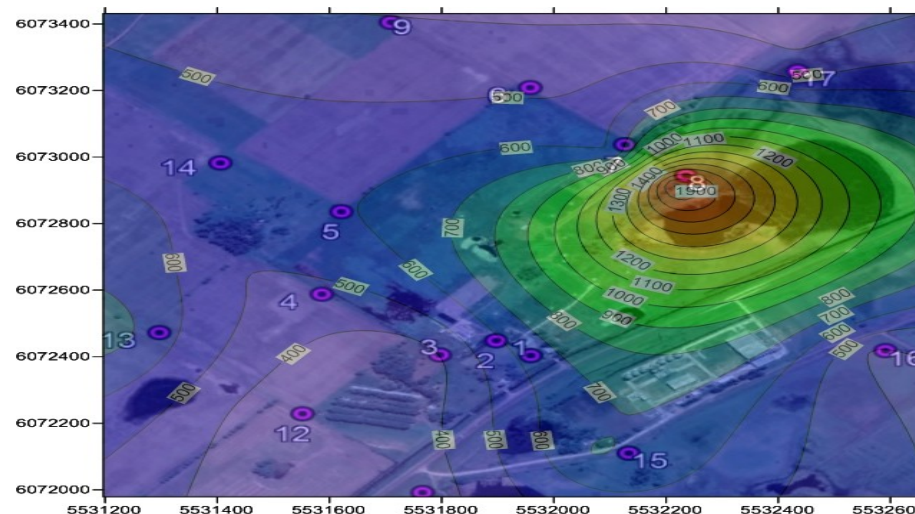


Figura 3.31. CE en otoño.

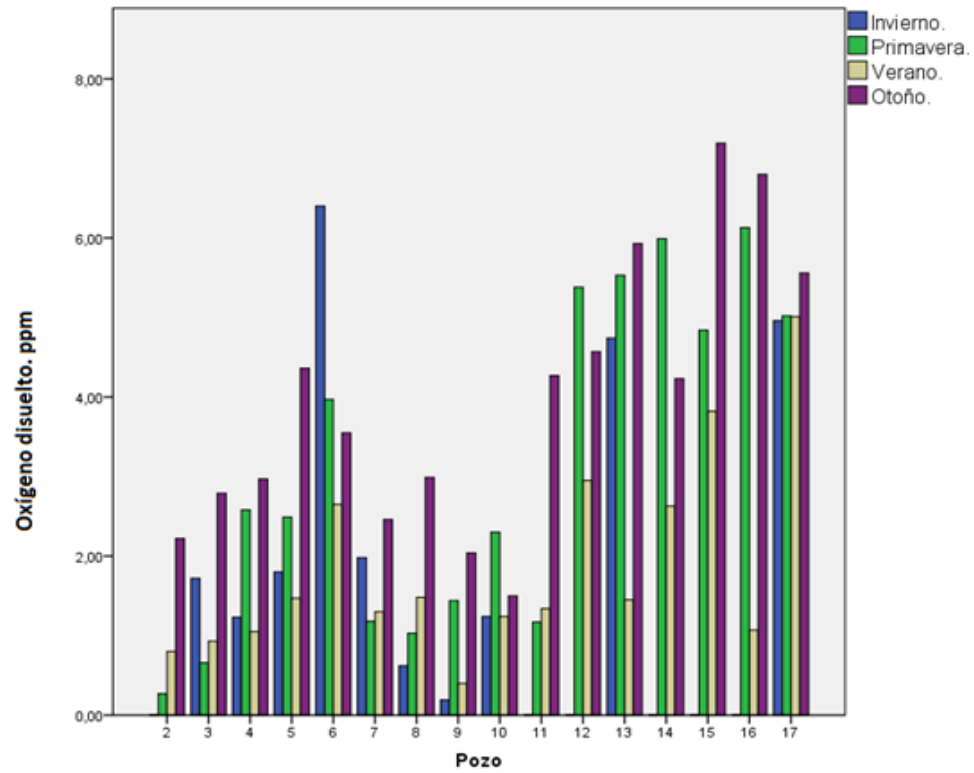


Figura 3.32. Oxígeno Disuelto en ppm, por pozo y estación.

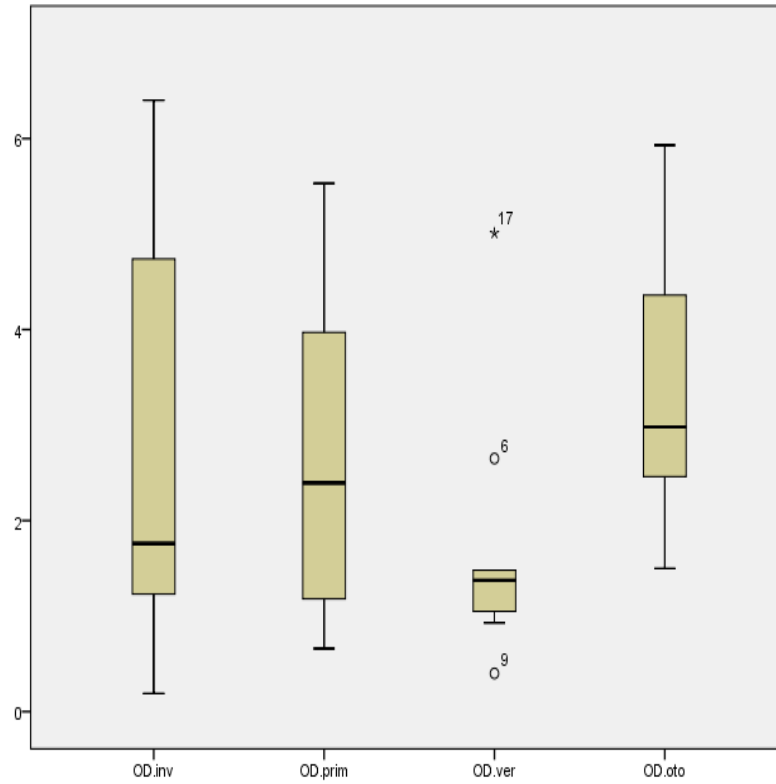


Figura 3.33. Gráfico de caja, donde se observan valores atípicos de Oxígeno disuelto

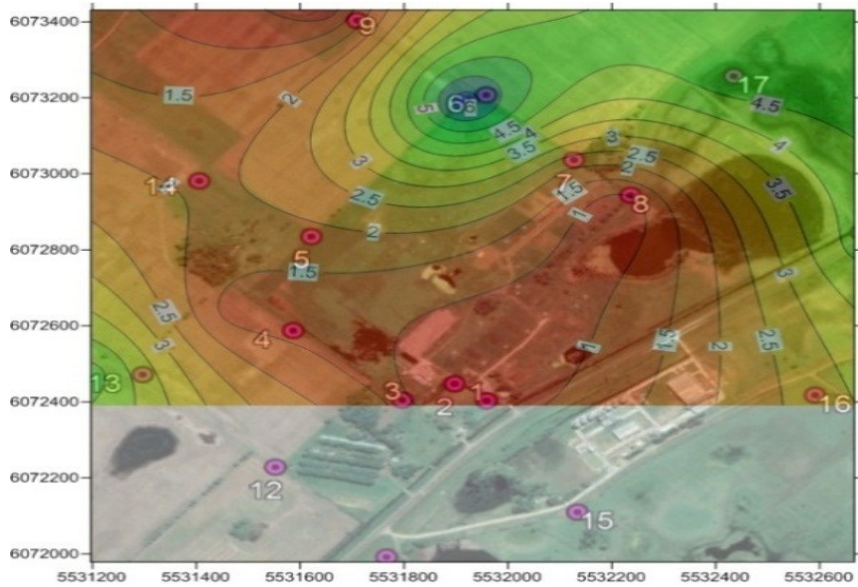


Figura 3.34. Oxígeno disuelto en invierno, en ppm.

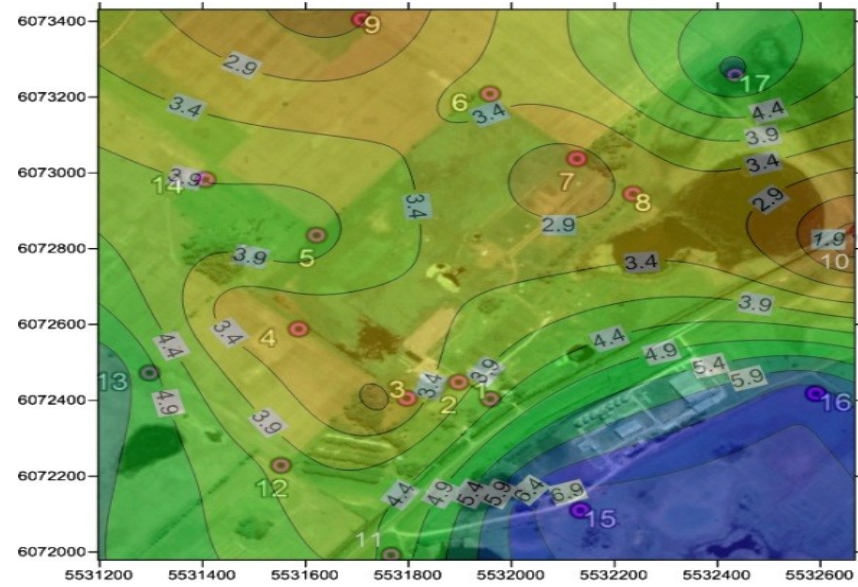


Figura 3.35. Oxígeno disuelto en primavera, en ppm.

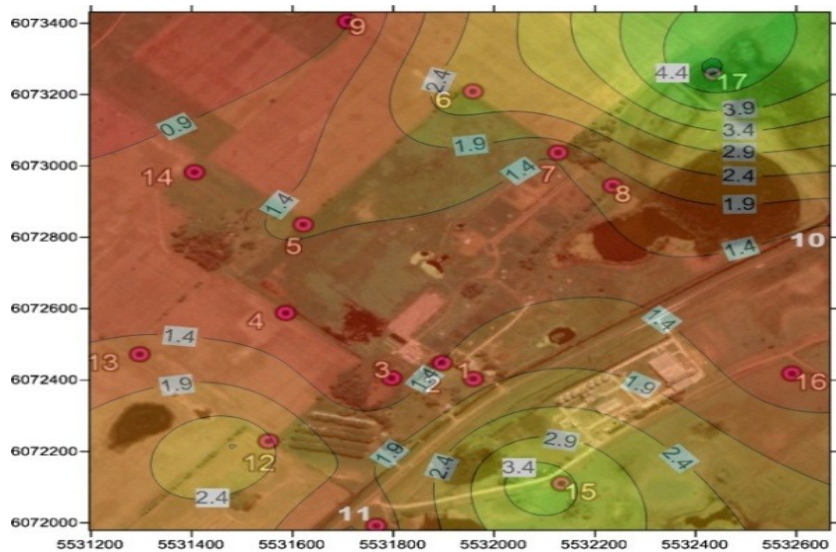


Figura 3.36. Oxígeno disuelto en verano.

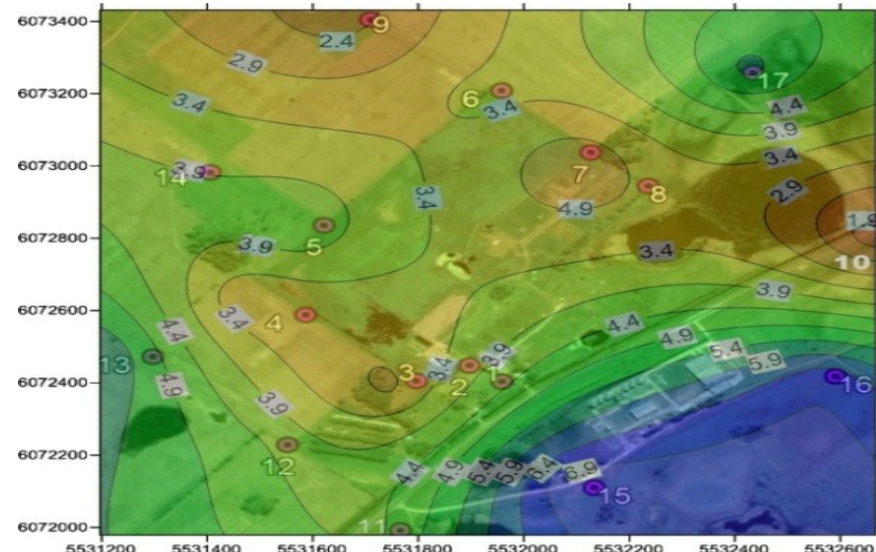


Figura 3.37. Oxígeno disuelto en otoño.

Los valores de pH determinados (Figura 3.38) dan muestra de que aumenta estacionalmente, desde el invierno al otoño. Ningún valor de pH está por debajo de 6 y por encima de 8,5. Aunque los pozos 2, 3 y 11, están por debajo de pH 6.5, en primavera, que es el límite inferior que propone el CAA (Anmat, 2016) como agua para consumo.

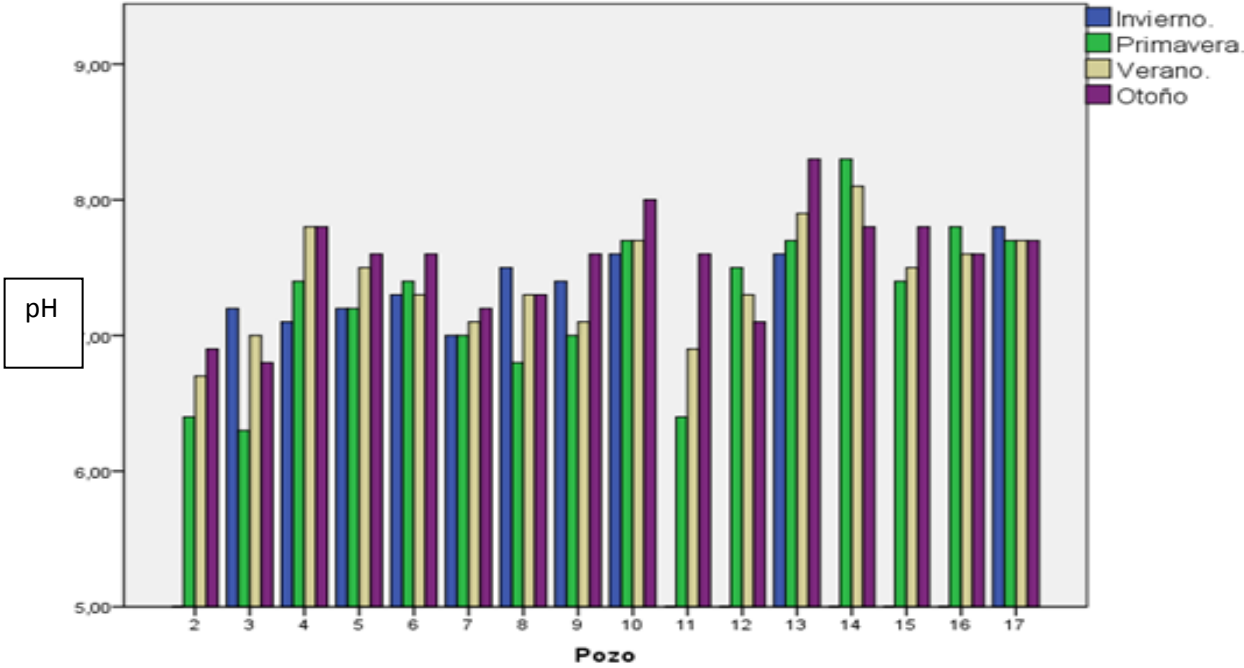


Figura 3.38. pH, por pozo y estación.

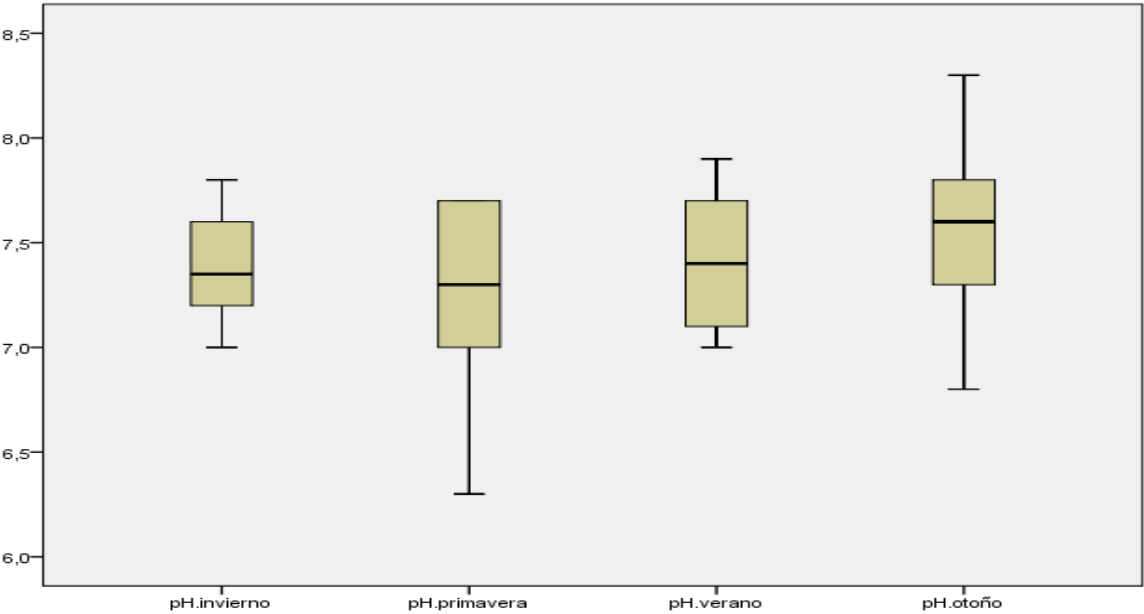


Figura 3.39. Gráfico de cajas de pH

3.6.2. Resultados de los análisis físico-químicos del agua superficial.

El agua superficial del espejo de agua, al NE del establecimiento, con pendiente desde los corrales, se muestreó sólo en verano, y se midió el pH, la CE, los sólidos totales disueltos, el oxígeno disuelto, nitratos y fósforo (Tabla 3.12).

En la laguna Indio Muerto, distante poco más de 3 kilómetros en línea recta hacia el norte de la zona de estudio, los valores promedio de nitrógeno total, (Quirós, 1988) fueron de 0.692 ppm, mientras que la de fósforo fue 0.119 ppm. La proporción de N/P da como resultado 5.81. Lo que establece que el fósforo es el nutriente limitante. En el bajo del NE de la zona de estudio, sólo se analizó la concentración de nitratos con un valor de 2.67 ppm, lo que da un $N-NO_3^-$ de 0.596 ppm, mientras que la concentración de fósforo fue de 7.76 ppm. Los valores de este último son elevados respecto a la proporción de $N-NO_3^-$, por lo que el resultado es una relación mucho menor de N/P, de 0.008 lo que indica aporte de fósforo y el nitrógeno es el nutriente limitante. Dicha relación es similar a los valores que plantea Castagnino (en Salas, 2001), para el aporte de ganado vacuno, de 7000 gr/animal*año de fósforo total y de 54.75 gr/animal.año de nitrógeno total. Comparado con la relación N/P del ambiente natural, en el bajo se observa un aporte importante de fósforo.

Tabla 3.11. Valores de los parámetros tomados del agua superficial del bajo con agua permanente.						
Fecha	pH	CE ($\mu S/cm$)	STD (mg/l)	Oxígeno disuelto (ppm)	Nitratos (ppm)	Fósforo (ppm)
17/2/2016	8.8	990	490	13.71	2.67	7.76

3.5.3. Resultados de los análisis microbiológicos.

El análisis bacteriológico de los pozos freáticos (Tabla 3.13), da como resultado que, salvo excepciones en alguna época del año, el agua no es potable microbiológicamente. La presencia de Pseudomonas y E coli, en el pozo 8, sumado a la cantidad de coliformes detectadas, demuestran el deterioro del agua del acuífero freático en dicho sitio.

Tabla 3.12. Análisis bacteriológico del agua.

Parámetros establecidos por el CAA		UFC (Unidad Formadora de Colonia)	Pseudomonas	Nº más probable de Coliformes (NMP)	E. coli	Estado según CAA
Valores indicadores		<500 UFC	Ausencia	<3 NMP	Ausencia	Potable bacteriológicamente
Estación	Pozo					
Invierno 2015	2	>500	Presencia	> 1000	Presencia	No potable
	3	50	Presencia	36	Ausencia	No potable
	4	40	Ausencia	11	Presencia	No potable
	5	>500	Ausencia	240	Ausencia	No potable
	6	>500	Ausencia	97	presencia	No potable
	7	>500	Ausencia	>1000	Presencia	No potable
	8	>500	Ausencia	>1000	Presencia	No potable
	9	93	Ausencia	500	Ausencia	No potable
	10	3	Ausencia	240	Ausencia	No potable
	Verano 2016	2	9	Ausencia	9	Ausencia
4		5	Ausencia	9	Ausencia	No potable
5		0	Ausencia	0	Ausencia	Potable
6		9	Presencia	0	Ausencia	No potable
7		10	Ausencia	23	Presencia	No potable
8		15	Presencia	23	Presencia	No potable
9		3	Ausencia	4	Ausencia	No potable
Otoño 2016	4	150	Presencia	9	Ausencia	No potable
	6	360	Ausencia	2	Ausencia	Potable
	7	10	Ausencia	0	Ausencia	Potable
	8	>500	Presencia	2400	Presencia	No potable
	10	100	Presencia	23	Ausencia	No potable

El agua debe considerarse no apta al detectarse la presencia de Escherichia coli o valores de coliformes totales (CT) que excedan los 3 NMP/100 ml. Estos niveles de presencia de microorganismos indicadores de contaminación en el agua pueden afectar las condiciones higiénico-sanitarias en las que se encuentran los animales, no solo del feed lot sino también de productores vecinos. Otro factor que puede afectar, porque la mayoría de los pozos de molino son realizados en los niveles

freáticos, es la presencia de *Pseudomonas aeruginosa*, la misma puede colonizar las superficies de los tanques o cisternas de reserva de agua y la cañería del agua hasta llegar al bebedero. Esta bacteria genera biopelículas que favorecen su adherencia y, de esa manera, se protege de los agentes desinfectantes en aguas tratadas y, además, puede llegar a generar resistencia a ciertos antibióticos. (Nicholson en Kopp et al, 2015).

Refiriéndose a la calidad del agua freática, a nivel bacteriológico, se puede decir que no es apta para el consumo humano, o sea no es potable (Anmat, 2016). Como en nuestro país no hay estándares para definir la calidad microbiológica del agua destinada para el consumo animal, varios autores, proponen usar los mismos indicadores del CAA para consumo humano (Koop, 2015). Por los tanto, los pozos 2 y 3 en invierno, 6 y 8 en verano y 4, 8 y 10 en otoño, indican una baja calidad del agua por la presencia de *Pseudomonas*.

Si, bien en invierno se observa mayor cantidad de bacterias, es en otoño que el pozo 8 excede los niveles establecidos por el CAA, en todos sus parámetros.

Chagas et al (2014) demostraron que las bacterias asociadas a partículas de sedimento, en aguas superficiales, son un buen indicador de contaminación producida por feedlot. Si bien, el agua que se estudió fue la freática, y que todos los pozos mostraban algún grado de contaminación, la presencia de *E coli* en los pozos 7 y 8, en verano, aguas debajo de los corrales, se puede inferir que hay aportes desde dicho lugar que favorecen el crecimiento de esos microorganismos.

3.7. Carga animal

El mayor número de terneros y terneras se registran en otoño, que es la estación en que el pastizal mengua y los animales son trasladados al feedlot (Figura 3.40). Se observa que en otoño hay una cantidad considerable de terneros/as, mientras que el de novillos se da en invierno. Si bien la cantidad de animales es mayor en otoño, más del 70% son terneros/as, por lo que hay que considerar que las excretas de los mismos son menores.

Tabla 3.13. Cantidad estimada de animales agrupados por categoría, por estación del año

categoría	Estación del año			
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Terneros	515	259	303	1253
Novillitos	516	476	467	271
Novillos	1402	158	876	906
Toritos	50	0	0	394
Toros	7	0	0	0
Terneras	400	95	450	1195
Vaquillonas	116	78	212	347
Vacas	964	972	1227	1131
Total	3970	3038	3535	5497

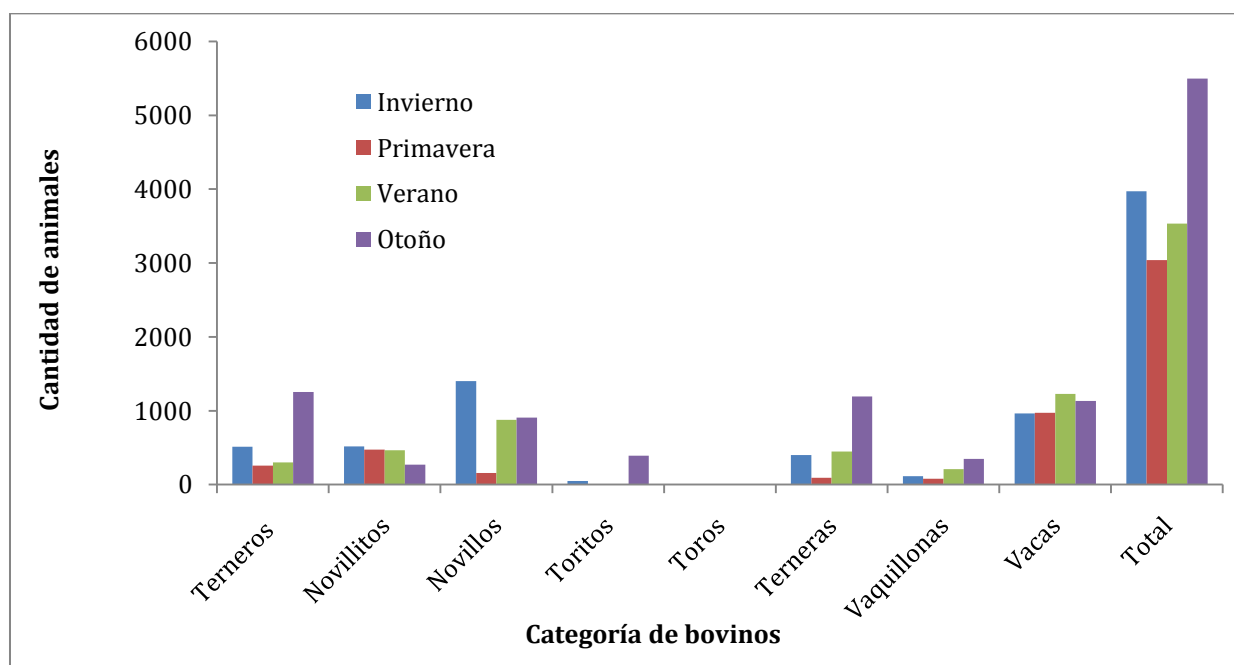


Figura 3.40. Cantidad estimada de animales, por categoría, que había antes de los muestreos.

La excreta de nitratos y fósforo dependerá de la dieta y de los kilogramos que pese el animal. Se estimó un peso promedio de la categoría animal de acuerdo con la tabla I.g. anexo1. Y se calculó el kilaje total por categoría animal, por estación (Tabla

3.15), mostrando un comportamiento similar a la cantidad de animales, salvo que en primavera la cantidad de kilogramos totales es menor al valor de otoño (Figura 3.41). Por lo que se supone que es en esa estación donde se produce la mayor salida de animales.

Tabla 3.14. Cantidad aproximada de toneladas por categoría animal, a partir de una valoración promedio del kilaje de la categoría.

categoría	Estación del año			
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Terneros	103	51.8	60.6	250.6
Novillitos	154.8	142.8	140.1	81.3
Novillos	560.8	63.2	350.4	362.4
Toritos	25	0	0	197
Toros	4.2	0	0	0
Ternereras	80	19	90	239
Vaquillonas	46.4	31.2	84.8	138.8
Vacas	433.8	437.4	552.15	508.95
Total	1408	745.4	1278.05	1778.05

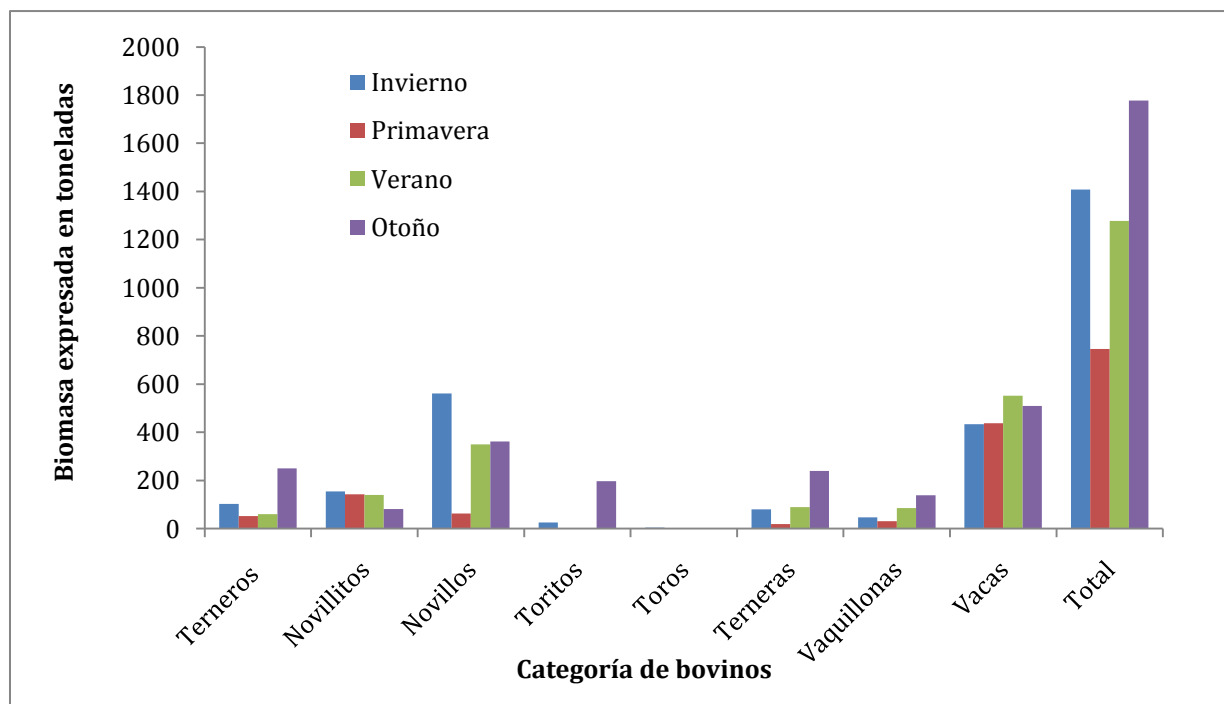


Figura 3.41. Cantidad aproximada de biomasa expresada en toneladas por categoría animal.

3.8. Determinación de la vulnerabilidad del acuífero libre

Para el caso de la zona medanosa del partido de Saladillo, la aplicación del método GOD da como resultado:

Ocurrencia de agua subterránea: 1 (No confinado); Sustrato litológico: 0.6 (loess); Distancia al agua: 0.9 (< 5 metros); el resultado para el índice de vulnerabilidad es de 0.54, lo cual corresponde a una vulnerabilidad alta. Esto se debe principalmente a la poca profundidad del nivel freático (2-4 m) y las condiciones de mediana permeabilidad del sustrato litológico (loess).

En la aplicación del método DRASTIC, teniendo en cuenta la tabla 4, se pudo estimar el índice de vulnerabilidad a partir de parámetros, cuyo valor y ponderación se muestra en la Tabla 3.16. Los valores y su ponderación se justifican de la siguiente manera: la Distancia al acuífero: los registros que se han tomado en los freáticos, en el periodo otoño 2015 al 2016, variaron entre 0.70 m a casi 3 m. Es menor a 5 metros, corresponde un valor de 9; la Recarga neta presentó alta variabilidad, por lo tanto, se estima a partir del almacenamiento que se calculó del balance hidrológico (Tabla 3.5). Como promedio anual, se obtiene del almacenamiento: 114.42 mm, corresponde un valor de 6; Material del acuífero: es una alternancia de arenas, arcillas y calizas, se le da el valor de 6; Suelo: La mayoría de los pozos fueron hechos en suelos de la serie Albina, que son suelos de textura arenosa, con un Bt franco arcillo arenoso, algo pobremente drenado, escurrimiento lento, permeabilidad lenta; otros se ubican en la serie Saladillo, cuyos suelos presentan moderado a buen drenaje, escurrimiento medio, y permeabilidad moderadamente lenta, se le otorga un valor de 6; la Pendiente: la mayor cota es de 56 m s.n.m en el extremo Oeste y la menor de 24.5 m.s.n.m en el arroyo Las Flores, en el extremo sureste. Ello determina una pendiente regional del orden del 0.02% (CODESA, 1996) y tomando 0.08% la pendiente local, lo que corresponde, en ambos casos, un valor de 10; la ZNS corresponde a la formación Junín, conjunto arenoso-limoso, con contenido de arcillas, se lo valora con 6; la conductividad hidráulica, de acuerdo al tipo litológico reconocido, su coeficiente de permeabilidad medio estaría en el orden los 10 m/día, con una porosidad efectiva entre $5 \cdot 10^{-2}$ y $7 \cdot 10^{-2}$ (Codesa, 1996), mientras que según Krusse (2003) la permeabilidad es mayor a 5 m/día. Según ambos resultados corresponde el valor 2.

Tabla 3.15. Puntaje asignado a cada variable del DRASTIC 6

Variable	Valor	Ponderación	Puntaje
(D) Profundidad hasta el nivel freático (2-4 mts)	9	5	45
(R) Recarga neta (114.42 mm)	6	4	24
(A) Material del acuífero (alternancia de areniscas, arcillas y calizas)	6	3	18
(S) Suelo (Hapludoles. Franco arenosos)	6	2	12
(T) Topografía (0.02% a 0.35%)	10	1	10
(I) Impacto de la zona no saturada (E) (arenas con contenido de arcillas)	6	5	30
(C) Conductividad hidráulica (5 m/día)	2	3	6
Total			145

La sumatoria de cada una de las variables del índice nos da un resultado total de: 145. (Tabla 3.16). El índice presenta rangos de valores para expresar el grado de vulnerabilidad del acuífero libre, que en este caso es moderada (según la Tabla I.b. anexo 1).

Bajo estos criterios, el DRASTIC presenta una vulnerabilidad moderada, mientras que el GOD, refleja una vulnerabilidad alta para la contaminación del acuífero libre.

4. Discusión general

El relieve del área de estudio presenta una pendiente con dirección Suroeste - Noreste, que localmente a un bajo con agua permanente, el cual se conecta al canal paralelo a la ruta. El flujo de agua superficial muestra que las precipitaciones sobre los corrales drenan en manto hacia ese bajo. Los análisis físico-químicos del agua lo demuestran dado que los valores de fósforo son elevados, como también los de nitratos, siendo la relación N/P relativamente pequeña, por lo cual deja de ser un factor limitante la concentración de fósforo para el crecimiento microbiano.

Los mapas equipotenciales de las diferentes estaciones del año muestran un comportamiento similar al agua superficial. El flujo de agua subterránea sigue una dirección SO-NE, hacia el bajo antes mencionado, pasando por debajo de los corrales. La dirección varía, en lugares puntuales, en verano y otoño, pero el aporte de agua subterránea, debajo de los corrales se mantiene.

Respecto al balance hidrológico, del periodo 2011-2015, los meses que arrojan déficit de agua son diciembre y enero, lo que concuerda con el nivel de la freática profundo en verano. Este periodo demostró ser más húmedo que el periodo 1989-1993, donde los meses con sequía fueron diciembre, enero y febrero. En ambos, se presenta exceso de agua desde abril a noviembre. Los niveles freáticos (figura 3.7) en las diferentes estaciones, se condicen con el balance hidrológico, es decir estos niveles se elevan en época de recarga, fundamentalmente en otoño. Sin embargo, teniendo en cuenta la recarga temporal, tanto en otoño como en los meses de verano hubo una mayor infiltración. Sin embargo, durante ese período, si el suelo se encontraba con escasa humedad y dadas las características del mismo, con un Bt nátrico, cuya permeabilidad es baja, es probable que el agua infiltrada no haya alcanzado la ZS. En consecuencia, los iones disueltos en el agua provenientes de la mineralización de la materia orgánica aportada por los animales podrían haber permanecido un tiempo en la ZNS, previamente a alcanzar la ZS en mayor medida en los meses de invierno para los nitratos y en primavera para el fósforo, cuyas concentraciones en el agua freática evidenciaron un aumento en sendas estaciones. El oxígeno disuelto aumenta en otoño cuando las concentraciones de nitratos y fósforo disminuyen, por lo tanto, se infiere que el deterioro de la calidad del agua

subterránea se produce de manera desfasada, porque la mayor carga animal, representada en kg de biomasa, se produce en otoño e invierno.

Por lo tanto, se podría determinar que luego de una recarga de agua importante de la ZS desde febrero hasta abril, con una carga animal mayor en otoño e invierno, los nitratos altamente móviles presentan sus máximas concentraciones en invierno mientras que el fósforo se retarda en la ZNS alcanzando sus máximos en primavera. Esto podría deberse al mayor poder de adsorción del fosforo en su tránsito por la ZNS, formando sales de Calcio, retardándose respecto a los nitratos. Se observa una disminución de la concentración de Nitratos del agua subterránea en verano y otoño, por lo que podría deberse a la menor cantidad de animales en primavera y verano, y que al profundizarse el nivel de la freática en este último, el camino de transporte de esos iones a través de la ZNS, aumenta.

Si bien los sondeos geoelectricos se realizaron como etapa exploratoria, contribuyeron a la interpretación de la distribución de la contaminación originada en el feedlot. Se observó que hubo un aumento de la CE de la ZS, asociado con la salinización del agua subterránea en el sentido del flujo subterráneo y también de la topografía. La resistividad disminuye hacia la zona del bajo. Esto ocurre también, en términos generales en la ZNS. El pozo 10, es el más afectado en cuanto a su alta CE tanto en ZNS como en ZS. Esta tendencia también se verifica en la distribución de la conductividad eléctrica del agua que también tiene valores altos en los pozos 8, 7 y 10 en la zona de aguas debajo de los corrales. En la zona del pozo 13, las resistividades bajas de la ZS similares a las del pozo 8, serían atribuibles, según lo que se ha expresado anteriormente, a la posible concentración de iones debido a fertilizantes inorgánicos. Los análisis físico-químicos confirmaron a posteriori, lo que se fue observando con los resultados de la prospección geoelectrica a través de las variaciones de conductividad eléctrica. El análisis espacial realizado a través del kriging, es representativo de la variabilidad de las propiedades evaluadas.

El pozo que se toma como testigo para la concentraciones de fósforo y nitratos en el agua subterránea, es el 3 que está aguas arriba de los corrales y presenta valores de CE bajos, así como de nitratos y fósforo. El pozo 8, que es el adyacente a los corrales y está ubicado en el extremo NE de los mismos, es el que presenta mayor concentración de nitratos y fósforo, en todas las estaciones del año; es el que posee mayor conductividad eléctrica, el más comprometido bacteriológicamente, con

presencia de coliformes, en gran cantidad y *Pseudomonas*. Es el pozo que está aguas abajo de los corrales.

El pozo 6 es otro de los que han presentado altos niveles de nitratos, comparados con el resto, especialmente en invierno y primavera y solo presenta valor atípico en verano. Este pozo linda con el cementerio del establecimiento.

Las temperaturas del agua de las muestras fueron, en promedio, en invierno 15.5°C, en primavera 18.5°C, en verano de 20°C y en otoño de 15°C. En verano disminuye el oxígeno disuelto, lo cual puede deberse a una mayor temperatura del agua que disminuye la concentración de saturación de oxígeno y estimula la actividad bacteriana. En otoño el descenso de la temperatura puede producir la situación inversa, disminución de la actividad biológica e incremento de la solubilidad.

La conductividad eléctrica también presenta un máximo en invierno, que puede relacionarse con la cantidad de animales en la estación anterior y por la recarga, que se distribuye entre febrero y abril, según el balance hidrológico.

Para que el agua sea considerada de buena calidad para el consumo animal, no debe superar los 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Sainato et al., 2006), y en el pozo 8, de mayor CE, no superaba los 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La concentración de nitratos no supera los valores máximos permitidos por el CAA, de 45 ppm. Para el consumo animal, tampoco se superan los valores máximos establecidos de una concentración por debajo de los 100 ppm para que el agua sea considerada apta bovinos y no es recomendable por encima de los 500 ppm (Sainato et al., 2006).

Según recomendaciones de la USEPA, para evitar eutrofización de reservorios de agua, la cantidad de fósforo que ingresa a un reservorio o lago no debe superar los 0.05 ppm o mg/l y en corrientes de agua, que no desembocan en lagos o reservorios, no debe superar los 0.1 ppm o mg/l (US Geological Survey. 1999). En este caso el fósforo, presenta concentraciones por encima de 0.1 ppm, que es lo que se considera como límite para evitar eutrofización de espejos de agua.

Las concentraciones de nitratos y fósforo excretado por día por un animal de 250 kg., según el modelo de Van Horn et al (1996), cercana a los 13080 ppm de nitrógeno (N-NO_3^-) y a los 520 ppm de fósforo exceden significativamente a las concentraciones halladas en el agua. Los nitratos, si bien son iones con alta movilidad, deben atravesar la zona no saturada antes de llegar al acuífero freático,

donde su movimiento está sujeto a distintos parámetros hidráulicos relacionados con la zona no saturada, como también a la actividad microbiana, allí presente. El fósforo, en cambio se combina con otros iones y es adsorbido por el suelo, por lo que su lixiviación es menos frecuente y su movilización se da principalmente por escorrentía superficial, que es lo encontrado en la laguna del bajo. Es por ello que la escorrentía superficial no configura un aporte mayor en nitratos pero sí de fósforo, cuya concentración es elevada, respecto a los niveles propuestos por EPA para disminuir la eutrofización de cuerpos de agua. Sin embargo, no hay que descartar su transporte hacia la zona saturada ya que, en corrales de engorde, Márquez Molina et al. (2014) realizaron estudios en un área con suelos Hapludol Éntico, y han encontrado, en el relieve semejante al del estudio, concentraciones un poco más elevadas de nitratos (49 a 56 ppm), comparadas a las halladas en este trabajo, en el agua subterránea, pero las de fósforo han sido menores (0.02 a 0.79 ppm). Lo que indica que el tipo de suelo y la pendiente son relevantes en la movilidad de estos iones.

5. Conclusiones

La integración de los estudios geofísicos permitió corroborar los alcances de la salinización de la zona no saturada y del acuífero freático por efecto del lixiviado de los corrales. La conductividad eléctrica refleja eficientemente el comportamiento de las sales originadas en los efluentes de los corrales, con una distribución que sigue la dirección del flujo subterráneo y la topografía.

La concentración de nitratos en el agua, no excede, en general, el umbral de 45 ppm establecido en el CAA para consumo humano, y mucho menos para el consumo de bovinos. El fósforo se presenta en concentraciones elevadas, respecto al contenido normal para ambientes no eutrofizados. En definitiva, el aumento de la conductividad eléctrica, la concentración elevada de fósforo y de nutrientes, que colabora con el crecimiento bacteriano, disminuyen la calidad del agua subterránea, aguas abajo del emprendimiento, y son indicadores de los efectos que ocasiona este tipo de actividad.

La zona no saturada actúa como factor atenuante en la lixiviación de elementos contaminantes en los meses de verano y el horizonte Bt nátrico de los suelos del lugar actuaría como buen filtro de los elementos en estudio. Los lixiviados se manifiestan en el agua subterránea a lo largo de los meses posteriores a la recarga dependiendo de su movilidad en la zona no saturada, por lo que demuestran una estacionalidad en la concentración de los contaminantes.

La biomasa animal contribuye a los aportes de nutrientes al agua subterránea, que en este caso se refleja, también, en forma desfasada temporalmente, dado que las variables del suelo, como la humedad, las precipitaciones, la interacción de los iones del agua con el suelo y la presencia de horizontes con poca permeabilidad, regulan el flujo de agua gravitacional hacia el nivel freático.

La actividad pecuaria intensiva, provoca cambios en la calidad del agua freática, aportando, estacionalmente, elementos potencialmente contaminantes en altas concentraciones y cantidad elevada de bacterias.

La vulnerabilidad a la contaminación indica riesgo moderado a alto, por lo que implica un riesgo la instalación, en esta zona, de este tipo de emprendimientos, sumado a que en las cercanías hay cursos de agua y bajos topográficos, caracterizados por ser zonas de descarga del agua subterránea y superficial, que

puede alterar a futuro su composición natural y eutrofizar aguas abajo del emprendimiento.

6. Bibliografía.

- Aller, L et al. 1987. DRASTIC. A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. EPA/600/2-87/035. Recuperado de:
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=20007KU4.TXT>
- Allred, B; Daniels, J. J. y Reza Ehsani, M. (Editores).2008. Handbook of agricultural geophysics. CRC Press Taylor & Francis Group.
- ANMAT. 2014. Microorganismos indicadores. Vol III. Análisis microbiológico de los alimentos. Metodología analítica oficial. Recuperado de
http://www.anmat.gov.ar/renaloe/docs/Analisis_microbiologico_de_los_alimentos_Vol_III.pdf
- ANMAT. 2016. Código Alimentario Argentino. Recuperado de:
http://www.anmat.gov.ar/alimentos/normativas_alimentos_caa.asp
- Auge, M. et al. 2006. Hidrogeología de Argentina. Boletín Geológico y Minero, 117 (1): 7-23
- Auge M, Hernández M y Hernández L 2002. Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la provincia de Buenos Aires, Argentina.. In: Groundwater and Human Development, 624-633.
- Bray, R. H. y Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci 59: 39-45.
- Cabrera Sansores, A. et al. 2000. Calidad del agua subterránea en un campo experimental hortícola en el estado de Yucatán.FEMISCA. Ciencia y conciencia compromiso nacional con el medio ambiente: memorias técnicas. México, D.F. p.1-12. Recuperado de
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/saneab/mexicon/R-0093.pdf>
- Chagas, C. L., Kraemer, F. B., Santanatoglia, B. J., Paz, M. y Moreton, J. 2014. Biological water contamination in some cattle production fields of Argentina subjected to runoff and erosion. Spanish Journal of Agricultural Research 12(4): 1008-1017. ISSN: 1695-971X e ISSN: 2171-9292
- Cleresci, L. (Presidente) et al. 1989. Métodos Normalizados. Para el análisis de aguas potables y residuales. APHA, AWWA, WPCF. Ediciones Diaz de Santos SA. 17º edición. Madrid.
- CODESA-PNUD. 1996. Estudio del Riesgo Hídrico en el Partido de Saladillo.
- Custodio, Emilio y Llamas, Manuel Ramón. 1983. Hidrología subterránea. Ediciones Omega. 2º ed. Tomo 1.
- Foster, S. S. D. (1987): Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. Vulnerability of Soil and Groundwater to pollutants. TNO Committee on Hydrological Research Information n°38, Ed. by W. Van Duijvenbooden and H.G. Van Waegenigh, The Hague: 69-86.

- Fundación Marzano. EMA (Estación Meteorológica Automática).
<http://www.fundacionmarzano.org.ar/ema/saladillo/mb5.htm>
- Heredia, O. S.; Fresina, M. E.; Santa Cruz, J. N. y Silva Busso, A. A. 2000. Nitratos y fósforo en el agua subterránea de un área antropizada de la región pampeana - Buenos Aires República Argentina. *1st Joint World Congress on Groundwater*. Recuperado de:
<https://aguassubterranas.abas.org/asubterranas/article/download/23554/15636>
- Honorable Consejo Deliberante de Saladillo. 2008. Ordenanza N° 81/2008: Regulación de actividades pecuarias.
- Hormaechea, J. L. 2008 Calculadora de coordenadas de la Estación Astronómica de Río Grande. FCALP. UNLP. Recuperado de :
<http://earg.fcaglp.unlp.edu.ar/calc/kruger.htm>.
- IBM. SPSS. Statistic. (Versión 22) [software] (2013) IBM Corporation.
- INTA. Carta de suelos de la República Argentina. 3560-28-Saladillo. Relevamiento realizado en 1973-1975. Última actualización 2009.
- Instituto Geográfico Nacional. 2016. Producción Cartográfica. Introducción. Ministerio de Defensa. Presidencia de la Nación. Recuperado de:
<http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/ProduccionCartografica/Introduccion>
- Jongbloed; A. W. y Lenis, N. P. 1998. Environmental concerns about animal manure. *Journal of Animal Science* 76: 2641-2648.
- Kampshake, L. J., S Ahannah and Cohen, J. M. 1967. Automated analysis for nitrate by hidrazina reduction. *Water Resour. Res.* 1: 205-216.
- Köhn, J; Kruese, E y Santos, J. 2000. Modelado en geofísica aplicado al transporte de nitrato en aguas subterráneas. *1st Joint World Congress on Groundwater*.
- Kopp, S. B., Pérez, M. A., García, S. B. y Patiño, S. M. 2015. Calidad microbiológica estacional del agua de bebida para cerdos: Análisis comparativo en establecimientos porcinos de la zona núcleo de la provincia de Córdoba. SNS N.º 9, invierno, julio-septiembre de 2015 ISSN 2314-2901.
revistasns@senasa.gov.ar
- Kruse E, Rojo A, Laurencena P, Deluchi M. 2003. Comportamiento del agua subterránea en relación al Canal 16 – Provincia de buenos Aires. En: III Congreso de Hidrogeología. I Seminario Hispano – Latinoamericano sobre temas actuales de la Hidrología subterránea. 245-254.
- Kruse, E.; Deluchi, E.; Carol, E.; Laurencena, P. Rojo, A. 2010. Hidroquímica subterránea en un sector de la zona deprimida del Salado, Provincia de Buenos Aires. I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Azul Argentina.

- Liotta, Mario. 2008. Guía práctica para la instalación de freatímetros. INTA. Recuperado de: <http://inta.gob.ar/documentos/guia-practica-para-la-instalacion-de-freatimetros>
- Losinno, Beatriz N, Sainato, Claudia M., Malleville, Horacio J., Galindo, Griselda. 2008. Tomografía de resistividad eléctrica aplicada a la caracterización de sitios contaminados en tambos. Revista Ciencia del Suelo, 26 (2): 141-152 ISSN 0326- 3169
- Margalef, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega, Barcelona. 1010 p.
- Maquez Molina, J.J., Sainato C.M., Urricariet A.S., Losinno B.N., Heredia O.S. 2014. Bulk electrical conductivity as an indicator of spatial distribution of nitrogen and phosphorous at feedlots. Journal of Applied Geophysics, vol. 111:156-172. DOI: 10.1016/j.jappgeo.2014.10.002
- Márquez Molina J.J., Urricariet S., Sainato C. M., Losinno B.N., Heredia O.S. 2015. Effects of feedlot manure on soil and groundwater assessed with electrical resistivity tomography. Environmental Earth Sciences. Springer (Ed.)Volume 73, Issue 4 , Page 1459-1472, ISSN On line 1866-6299, (DOI) 10.1007/s12665-014-3496-y
- Muñoz,H.; Armienta, M. A.; Vera, A. y Cenicerros, N. 2004. Nitrato en el agua subterránea del valle de Huamantla, Tlaxcala, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 20 (3) 91-97
- Oldenburg D.W. and Y. Li. 1994. Inversion of induced polarization data. Geophysics, VOL. 59, NO.9; P. 1327-1341. Recuperado de: https://gif.eos.ubc.ca/sites/default/files/Oldenburg_1994b.pdf
- Oldenburg D.W. and Y.Li. 1999. Estimating depth of investigation in DC resistivity and IPsurveys. Geophysics Vol. 64 N° 2. Pp: 403–416.
- Perdomo, C. H.; Casanova, O. N. y Ciganda, V. S. 2001. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. Agrociencia. Vol V N° 1 Pp 10-22
- Persoglia, S. (16 de Julio de 2005). Los corrales engordan. Suplemento rural, Clarín. Recuperado de <http://edant.clarin.com/suplementos/rural/2005/07/16/r-01011.htm>
- Poder Judicial de la Provincia de Buenos Aires. 2005. Dirección General de Asesorías Periciales. Investigación bacteriológica y determinación de nitratos y nitritos de muestras de agua, Q 87842, en el marco de la IPP N° 1627/05.
- Pordomingo; Anibal. 2003. Gestión ambiental en el feedlot. Guía de buenas prácticas. INTA Anguil, La Pampa. Argentina.
- Quirós, Rolando. 1988. Relationsheeps between air temperatura, depth, nutrients and chlorophyll in 103 Argentine lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 23. Pp 647-658. Stuttgart. August 1988.

- Reynoso, L.; Sasal, C.; Portela, S. y Andriulo, A. 2005. Vulnerabilidad del acuífero pampeano a la contaminación en el norte de la Provincia de Buenos Aires. Aplicación de la metodología Drastic. RIA, 34 (1): 85-99. INTA, Argentina.
- Righini, R y Grosi, H. 2001. Optimización de la colección anual de radiación solar diaria en Argentina, sobre plano inclinado en función del ángulo y albedo de superficie. Información Tecnológica. Vol 12 N° 3.
- Romanazzi, P. et al. 2009. Fundamentos de hidrología de superficie. Notas de clase y enunciados de los TP. UNLP, FI y FCNyM.
- Sainato, Claudia, Galindo, Griselda y Heredia, Olga. 2006. Agua subterránea. Exploración y utilización agropecuaria. Editorial Facultad de Agronomía. UBA.
- Sainato, Claudia M.; Losinno, Beatriz N.; Malleville, Horacio J. 2010. Electrical resistivity tomography applied to detect contamination at a dairy farm at the Pampean Region, Argentina. Near Surface Geophysics, 8 (n.2): 163-172. ISSN 1873-0604(on line) 1569-4445(print).Eds. European Association of Geoscientists & Engineers.Netherlands.
- Sainato, Claudia M.; Losinno, Beatriz N.; Malleville, Horacio J. 2012. Assessment of contamination by intensive cattle activity through electrical resistivity tomography. Journal of Applied Geophysics, vol.76: 82-91. Eds Elsevier, Netherlands ISSN 0926-9851
- Salas, H. J. y Martino, P. 2001. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). OPS/CEPIS/PUB/01. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaca/e/fulltext/eutrof/eutrof.pdf>
- Sánchez, F. J. 2011. Cálculo de precipitación neta mediante el método de SCS. Recuperado de: http://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta_SCS/Pneta_SCS_fundam.pdf
- Santa Cruz, J. N. y Silva Busso, A. Escenario hidrogeológico general de los principales acuíferos de la llanura pampeana y mesopotamia meridional Argentina. Instituto Nacional del Agua y del Ambiente, PNDSAS.
- Sell, Ron y Knutson L. 2002. Quality of Ground Water in Private Wells in the Lower Yakima Valley 2001-2002.Valley Institute for Research and Education Publication N° 02-10-074.
- Senasa, 2001. Resolución 70/2001 Publicado en el Boletín Oficial del 06/02/2001. Resoluciones posteriores, 2/2003, 447/2004 y 1389/2004
- Servicio Meteorológico Nacional. Datos Históricos. Estadística Climática Básica. https://ssl.smn.gob.ar/dpd/opendata_descargadatos.php
- Sims, J. T., Bergtröm, L., Bowman, B. T. y Oenema, O. 2005. Nutrient management for intensive animal agriculture: policies and practices for sustainability. Soil Use and Management 21, Pp 141-151.

- Surfer 10 (Versión 10.7.922) [Software] (2012) Golden Software Inc.
- Tejada, C., Quiñones, E., Peña, M. 2014. Contaminantes emergentes en aguas: metabolitos de fármacos. Una revisión. Revista Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Militar Nueva Granada. Vol. 10 N° 1. Recuperado de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/341/137>
- Turner, Jacky. 1999. Ganadería industrial y medioambiente. Compassion in World Farming Trust.1999. ISBN 1 900156 11 3
- USDA-EPA. 1999. Estrategia Nacional Unificada para Operaciones de Alimentación Animal.) Regulations: 40 CFR 122,23(d,e,f,g), 122,42 and 412 (68 FR 7268 and 7269). Washington DC.
- USEPA. 2010. Implementation Guidance on CAFO Regulations- CAFOs That Discharge or Are Proposing to Discharge. Office of Water.Office of Wastewater Management.Water Permits Division. Washington, DC.
- USEPA. 2009. Metrics for Nitrate Contamination of Ground Water at CAFO Land Application Sites. Arkansas Dairy Study. Office of Research and Development
- US Geological Survey. 1999. Nutrients in the Nation's Water- too much of a good thing. National Water-Quality program. USGS, Circular 1136, 14p
- Van Horn, H. H., Newton, G. L. y Kunkle, W. E. 1996. Ruminant nutrition from an environmental perspective: factor affecting whole-farm nutrient balance. Journal of Animal Science.74: 3082- 3102.
- Zeballos, Horacio R. Clasificación y categorías de bovinos y ovinos. Zootecnia. Facultad de Veterinaria. UNICEN. Recuperado de: http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/Zootecnia/images/Clasificaci%C3%B3n_y_categor%C3%ADas_de_los_animales.pdf
- Zhu J., A.Luo, Y.Zhou, P.M. Ndegwa, D.R. Schmidt. 2004. The Age Effect of Dairy Feedlots on Manure Nutrient Seepage in Loam Soils. Biosystems Engineering 89 (2): 223–229.

Anexos

Anexo I. Tablas extraídas de otras fuentes

Tabla I.a. Rango y valores de los parámetros e Índices de ponderación del DRASTIC. Extraída de Sanchez (2011)

D- Profundidad del nivel piezométrico			R- Recarga neta	
Rango (m)	Valor		Rango (mm)	Valor
< 1.5	10		0 - 50	1
1.5 a 5	9		50 - 100	3
5 a 10	7		100 - 180	6
10 a 20	5		180 - 255	8
30	2			9
>30	1			
A- Naturaleza del acuífero			S- Naturaleza del suelo	
Descripción	Rango	Valor	Tipo de suelo	Valor
Arcillas, margas, limos	1 – 3	2	Arcilla no expansiva y agregada	1
Ígneas/metamórficas	2 – 5	3	Suelo orgánico	2
Ígneas/metamórficas alteradas	3 – 5	4	Franco arcilloso	3
Alternancia de areniscas, arcillas y calizas	5 – 9	6	Franco limoso	4
Areniscas masivas	4 – 9	6	Franco	5
Calizas masivas	4 – 9	6	Franco arenoso	6
Arenas, gravas y conglomerados	4 – 9	8	Arcilla expansiva y/o agregada	7
Volcánicas	2 – 10	9	Turba	8
Calizas calcificadas	9 - 10	10	Arena	9
			Grava	10
			Delgado o ausente	10
T- Topografía			C- Permeabilidad	
Rango (%)	Valor		Rango (m/día)	Valor
0 – 2	10		<4	1
2 – 6	9		4 – 12	2
6 – 12	5		12 – 28	4
12 – 18	3		28 – 40	6
>18	1		40 – 80	8
			>80	10
I-Impacto de la zona no saturada				

Descripción	Rango	Valor
Arcilla, limo, margas	1 – 2	1
Esquistos, pizarras	2 – 5	3
Calizas	2 - 7	6
Areniscas	4 – 8	6
Alternancia de calizas, areniscas, arcillas	4 – 8	6
Arenas y gravas con contenidos en arcillas	4 – 8	6
Metamórficas, ígneas	2 – 8	4
Arenas y gravas	6 – 9	8
Volcánicas	2 – 10	9
Calizas carsitificadas	8 - 10	10
Parámetros	Índices de ponderación	
Profundidad del nivel del agua	5	
Recarga	4	
Naturaleza del acuífero	3	
Tipo de suelo	2	
Topografía	1	
Impacto de la zona no saturada	5	
Permeabilidad	3	

Tabla I.b. Índices de vulnerabilidad. Extraída de Sanchez (2011)

Índice	Vulnerabilidad
<100	Insignificante
101 - 119	Muy baja
120 – 139	Baja
140 - 159	Moderada
160 - 179	Alta
180 - 199	Muy alta
>200	Extrema

Tabla I.c. Grupos de suelo según NRCS. Extraída de Sanchez (2011)

Grupo	Infiltración (Cuando están muy húmedos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre
Nota: los terrenos con nivel freático alto se incluirán en el grupo D				

Tabla I.d. Estimación inicial del umbral de escorrentía P_0 (mm) para humedad previa intermedia. Extraído de Sanchez (2011)

Estimación inicial del umbral de escorrentía P_0 (mm)						
Uso del suelo	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	>3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	<3	N/R	20	14	11	8
Cultivos en hilera	>3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	<3	N/R	28	19	14	11
Cereales de invierno	>3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	<3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	>3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	<3	R/N	30	19	13	8
Rotación de cultivos densos	>3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	<3	R/N	47	25	16	13
Praderas	>3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
	<3	Pobre	58	25	12	7
		Media	*	35	17	10
		Buena	*	*	22	14
		Muy buena	*	*	25	16
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	>3	Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14
		Buena	*	42	22	15
	<3	Pobre	*	34	19	14
		Media	*	42	22	15
		Buena	*	50	25	16
Masas forestales (bosques, montes bajos, etc.)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	*	34	22	16
		Espesa	*	47	31	23
		Muy espesa	*	65	43	23

R: Denota cultivo según la línea de máxima pendiente.

N: Denota cultivo según las curvas de nivel.

*: Denota que esa parte de la cuenca debe considerarse inexistente a efectos de caudales de avenida.

Tabla I.e. Humedad previa, de acuerdo con la precipitación total en los 5 días anteriores, Extraído de Sanchez (2011)

Plantas en periodo latente	Plantas en periodo de crecimiento	Humedad previa
Menos de 13 mm	Menos de 35 mm	Seco (I)
De 13 a 32 mm	De 35 a 52 mm	Normal (II)
Mas de 32 mm	Más de 52 mm	Húmedo (III)

Tabla I.f. Conversión de P_0 según las condiciones de humedad. Extraído de Sanchez, (2011)

Po para humedad previa normal (II)	Po para humedad previa seca (I)	Po para humedad previa húmeda (III)
3	7	0.5
6	14	1
9	21	2
13	29	3
17	38	5
21	48	7
27	61	10
33	75	13
41	93	17
50	112	21
61	135	27
75	167	33
93	213	41
117	283	50

Tabla I.g. Categorías de Bovinos. Clasificación realizada por el Med Vet Horacio Zeballos para la cátedra de Zootecnia de la UNICEN.

Categoría	Descripción
Terneros/as	machos y hembras de 7 a 12 meses, dientes de leche, y con un peso vivo hasta 250 kg. Para el cálculo de biomasa se toma un promedio de 200 kg.
Novillitos	machos de 12 a 18 meses, castrados a temprana edad, dientes de leche y con un peso hasta 350 kg. Se toma un promedio de 300 kg para el cálculo de la biomasa
Novillos	machos castrados, mayores de 18 meses, de 2 o más dientes, con un peso superior a los 350 kg. 400 kg es el promedio para el cálculo de biomasa.
Vaquillonas	hembras que no han tenido ninguna parición, de 12 a 30 meses, dientes de leche hasta 2 a 4 dientes. Muchas veces se usa impropriamente la denominación de vaquillona a la hembra de segunda parición o de segundo servicio, para diferenciarla de las vacas adultas. 400 kg es el promedio para el cálculo de biomasa.
Vacas	hembras que han tenido por lo menos un parto, mayores de 30 meses, de 4 o más dientes y también medio diente o dientes gastados. Peso según raza y estado superior a 350 kg. 450 kg es el promedio para el cálculo de biomasa.
Toritos	machos enteros (sin castrar), hasta 24 meses de edad, 2 dientes. Peso según raza. Se considera un promedio de 500 kg para el cálculo de biomasa
Toros	machos enteros, mayores de 24 meses de edad, 4 o más dientes, peso según raza y estado. Se considera un promedio de 600 kg para el cálculo de biomasa.

Anexo II. Tablas con datos generados para este proyecto

Tabla II.a. Niveles topográficos de los puntos georreferenciados en cm sobre el nivel del mar

Nivel topográfico. (cm snm)										
Punto	Georreferencia		Espalda			Plano horizontal (cm)	Frente			Cota
	x	y	HS	HM	HI		HS	HM	HI	
Mojón	5531740	6072036								3900,00
1	5531782	6072169	171,5	139,50	107,5	4039,50	216	184,25	152,5	3855,25
2	5531854	6072242	179,2	153,00	126,8	4008,25	159,5	132,75	106	3875,50
3	5531851	6072284	169,2	152,60	136	4028,10	179,5	163,10	146,7	3865,00
4	5531760	6072359	138	116,50	95	3981,50	141,9	124,95	108	3856,55
pozo 3	5531759	6072357	143	132,60	122,2	3989,15	184,5	166,95	149,4	3822,20
6	5531744	6072388	120,1	137,50	154,9	3959,70	144	126,95	109,9	3832,75
7	5531707	6072400	170,2	145,10	120	3977,85	160,5	137,65	114,8	3840,20
8	5531640	6072473	155	139,00	123	3979,20	174	157,75	141,5	3821,45
9	5531585	6072524	157	136,65	116,3	3958,10	116,8	137,65	158,5	3820,45

pozo 4	5531467	6072645	145,2	129,35	113,5	3949,80	172,8	154,60	136,4	3795,20
Punto 4 como referencia										3856,55
Pozo 2 (63)	5531851	6072429								3823,50
Pozo 1 (64)	5531914	6072382								3892,00
122	5531494	6072740	106,9	130,05	153,2	3925,25	195,8	157,15	118,5	3768,10
POZO 5	5531576	6072828	177	151,05	125,1	3919,15	168,7	134,60	100,5	3784,55
124	5531706	6072974	161,4	110,70	60	3895,25	160,5	111,50	62,5	3783,75
125	5531843	6073122	170	120,25	70,5	3904,00	188	138,10	88,2	3765,90
Pozo 6	5531902	6073203	161,8	137,80	113,8	3903,70	158,9	131,75	104,6	3771,95
128	5532050	6073070	188	135,75	83,5	3907,70	196	148,00	100	3759,70
Pozo 7	5532115	6073013	164,9	146,00	127,1	3905,70	140	116,30	92,6	3789,40
Pozo 8	5532186	6072946	191,5	166,50	141,5	3955,90	144,8	118,05	91,3	3837,85
132	5532176	6072955	114,9	108,70	102,5	3946,55	98,6	85,55	72,5	3861,00
133	5532230	6073055	132,8	104,00	75,2	3965,00	216,8	189,45	162,1	3775,55
134	5532320	6073215	224,1	200,00	175,9	3975,55	179	250,00	321	3725,55

135	5532376	6073168	79	60,50	42	3786,05	104,4	84,75	65,1	3701,30
139	5532574	6072963	163,5	112,25	61	3813,55	177	132,65	88,3	3680,90
140	5532669	6072819	174,4	153,70	133	3834,60	164,5	137,25	110	3697,35
Pozo 10	5532670	6072821	178,5	139,45	100,4	3836,80	208	160,75	113,5	3676,05
142	5532599	6072738	277,3	262,75	248,2	3938,80	185	134,25	83,5	3804,55
143	5532362	6072587	205,5	134,50	63,5	3939,05	171,3	100,65	30	3838,40
144	5532167	6072448	195,75	136,88	78	3975,28	189	129,00	69	3846,28
145	5531921	6072274	208	148,15	88,3	3994,43	230	137,50	45	3856,93
146	5531794	6072114	208,8	153,75	98,7	4010,68	312,4	265,45	218,5	3745,23
Pozo 11	5531716	6071979	205,8	183,50	161,2	3928,73		3,00		3925,73
114	5531471	6072548	90,5	115,75	141	3910,95	157,5	133	108,4	3777,95
115	5531496	6072348	152,5	126,5	100,5	3904,45	131	106,4	81,7	3798,05
116	5531493	6072246	176,8	151,2	125,7	3949,25	145,5	121,5	97	3827,75
Pozo 12	5531486	6072215	163,5	156,1	148,7	3988,45	115	106,75	98,5	3881,7
119	5531338	6072350	131	81	31	3962,7	194	143,5	93	3819,2

Pozo 13	5531197	6072476	178.5	127.5	76.5	3946.7	146.5	102.5	58.5	3844.2
123	5531576	6072828	177	151.05	125.1	3919.15	168.7	134.60	100.5	3784.55
154	5531481	6072915	154.5	123.25	92	3907.80	116.5	81.75	47	3826.05
Pozo 14	5531376	6073012	137.4	108.80	80.2	3934.85	160	116.25	72.5	3818.60
Mojón	5531740	6072036								3900.00
148	5531901	6072053	0	34.5	69	3934.50	203	153.875	104.75	3829.75
149	5532063	6072109	157.5	120.35	83.2	3950.10	192.5	144.15	95.8	3854.30
Pozo 15	5532073	6072115	164.5	126.85	89.2	3981.15	169.8	136.75	103.7	3877.45
151	5532206	6072200	164.5	126.85	89.2	3981.15	164.8	117.9	71	3910.15
152	5532375	6072307	230.8	180.65	130.5	4058.10	247.7	195.75	143.8	3914.30
156	5532538	6072421	172.5	119.25	66	4029.40	197	150.7	104.4	3925.00
Pozo 16	5532572	6072412	158.7	145.25	131.8	4059.55	140	129.6	119.2	3940.35
135	5532376	6073168	79	60.50	42	3812.00	104.4	84.75	65.1	3727.25
Pozo 17	5532427	6073266	113	88.85	64.7	3816.10	174	130.5	87	3685.60

Tabla II.b. Caracterización de los diferentes sectores del área de estudio, según NRCS, en grupos de suelo, de acuerdo con su cobertura, para obtener P_0 .

Subarea	sector	invierno 15	primavera 15	verano 16	otoño 16
1	Monte Suelo LAb Grupo c	Monte, cobertura buena. P_0 22	Monte, cobertura buena. P_0 22	Monte, cobertura buena P_0 22	Monte, cobertura buena P_0 22
	Sector de cultivo. Suelo LAb Grupo c	Barbecho P_0 11	cultivo en hilera P_0 14	cultivo en hilera P_0 14	barbecho P_0 11
	Pastizal Suelo Sa Grupo C	pastizal medio/pobre P_0 17	pastizal bueno P_0 22	pastizal bueno P_0 22	pastizal medio/pobre P_0 17
2	Pastizal Suelo LAb Grupo C	pastizal medio/pobre P_0 17	pastizal óptimo P_0 22	pastizal óptimo P_0 22	pastizal medio/pobre P_0 17
3	Pastizal Suelo LAb Grupo C	pastizal medio/pobre P_0 17	pastizal medio/pobre P_0 17	pastizal medio/pobre P_0 17	pastizal medio/pobre P_0 17
4	Corrales Grupo D	Pradera pobre P_0 8	Pradera pobre P_0 8	Pradera pobre P_0 8	Pradera pobre P_0 8
5	Laguna	reservorio de agua	reservorio de agua	reservorio de agua	reservorio de agua

Tabla II.c. CN convertido según condiciones de humedad previa.

Suba rea	sector	invierno 15	Po convertid o	primavera 15	Po convertid o	verano 16	Po convertid o	otoño 16	Po convertid o
1	Monte Suelo Lab Grupo c	media	7	media	48	media	48	media	48
	Sector de cultivo. Suelo Lab Grupo c	barbecho	3	cultivo en hilera	29	cultivo en hilera	29	barbecho	21
	Pastizal Suelo Sa Grupo C	pastizal medio	5	pastizal bueno	48	pastizal bueno	48	pastizal medio	38
2	Pastizal Suelo Lab Grupo C	pastizal medio	5	pastizal òptimo	48	pastizal òptimo	48	pastizal medio	38
3	Pastizal Suelo Lab Grupo C	pastizal medio	5	pastizal medio	38	pastizal medio	38	pastizal medio	38
4	Corrales Suelo D	corrales	21	corrales	21	corrales	21	corrales	21
5		reservorio de agua		reservorio de agua		reservorio de agua		reservorio de agua	

Tabla II.d. Precipitación efectiva (Po) por sector.

Sub área	Sector	superficie en km ²	proporción	Po Invierno	Po Primavera	Po Verano	Po Otoño
1	Monte	0.01	0.11	0.77	5.28	2.28	5.28
1	barbecho/cultivo	0.04	0.445	1.335	12.905	12.905	9.345
1	pastizal poco drenado	0.04	0.445	2.225	21.36	21.36	16.91
Total sub área 1		0.09	1	4.33	39.545	36.545	31.53 5
2	pastizal	0.2		5	48	48	38
3	pastizal	0.03		5	38	38	38
4	corrales	0.12		2	21	21	21
5	laguna y planicie	0.17					

Tabla II.e. Concentraciones de nitratos y fósforo.

Pozo	Nitratos (ppm)				Fosforo (ppm)			
	invierno	primavera	verano	otoño 16	invierno	primavera	verano	otoño 16
2	S/D	1.19	0.87	0.53	S/D	2.75	1.06	0.19
3	12.65	0.84	2.44	2.45	0.295	1.55	0.16	0.00
4	10.77	8.86	4.21	1.86	0.405	1.94	0.95	0.45
5	3.87	7.53	3.99	0.29	0.76	0.42	0.00	0.00
6	20.82	27.02	9.75	4.53	0.58	0.685	0.43	0.43
7	18.86	16.83	2.9	4.13	1.145	1.795	0.57	0.00
8	22.89	27.466	11.72	15.53	0.84	2.75	2.33	4.28
9	9.97	1.62	0.7	1.86	1.06	1.79	1.40	0.74
10	5.09	6.2	4.1	1.90	2.75	2.365	1.24	0.55
16	S/D	6.64	2.82	5.06	S/D	1.67	0.36	0.77

S/D: Sin datos

Tabla II.f. Conductividad eléctrica en microSiemens/cm y sólidos totales disueltos (mg/l)

Pozo	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				STD (mg/l)			
	invierno	primavera	verano	otoño 16	invierno	primavera	verano	otoño 16
2	S/D	570	790	1210	S/D	280	390	600
3	440	330	340	310	210	150	170	150
4	410	480	470	490	200	240	230	240
5	670	760	540	590	330	360	260	290
6	830	660	490	500	410	320	240	240
7	1010	940	390	620	500	470	190	300
8	2240	1380	1100	1950	1150	680	540	970
9	440	240	210	400	210	110	100	190
10	840	890	920	870	410	440	450	430
11	S/D	240	460	300	S/D	110	220	180
12	S/D	380	310	340	S/D	180	150	160
13	620	780	710	770	300	390	340	380
14	S/D	700	270	1100	S/D	340	130	540
15	S/D	590	600	710	S/D	280	290	350
16	S/D	450	410	380	S/D	220	200	190
17	450	520	440	430	220	250	210	210

S/D: Sin datos

Tabla II.g. Ph y oxígeno disuelto en ppm

Pozo	pH				Oxígeno disuelto (ppm)			
	invierno	primavera	verano	otoño 16	invierno	primavera	verano	otoño 16
2	S/D	6.4	6.7	6.9	S/D	0.27	0.8	2.22
3	7.2	6.3	7	6,8	1.72	0.66	0.93	2.79
4	7.1	7.4	7.8	7.8	1.23	2.58	1.05	2.97
5	7.2	7.2	7.5	7.6	1.8	2.49	1.47	4.36
6	7.3	7.4	7.3	7.6	6.4	3.97	2.65	3055
7	7	7	7.1	7.2	1.98	1.18	1.3	2.46
8	7.5	6.8	7.3	7.3	0.62	1.03	1.48	2.99
9	7.4	7	7.1	7.6	0.19	1.44	0.4	2.04
10	7.6	7.7	7.7	8	1.24	2.3	1.24	1.5
11	S/D	6.4	6.9	7.6	S/D	1.17	1.34	4.27
12	S/D	7.5	7.3	7.1	S/D	5.38	2.95	4.57
13	7.6	7.7	7.9	7.5	4.74	5.53	1.45	5.93
14	S/D	8.3	8.1	8.3	S/D	5.99	2.63	4.23
15	S/D	7.4	7.5	7.8	S/D	4.84	3.82	7.19
16	S/D	7.8	7.6	7.6	S/D	6.13	1.07	6.8
17	7.8	7.7	7.7	7.7	4.96	5.02	5.01	5.56

S/D: Sin datos

Tabla II.h. Movimientos de animales. Datos generados a partir de la información aportada por la oficina de guía municipal, del movimiento de animales de los cuatro clientes que más trabajan con la firma. Los números negativos son las salidas de animales en el año, tal número se establece de los cálculos de ingreso y egreso de cada mes. En el transcurso del año, se supone que los terneros ingresados cuando egresan lo hacen como novillos, por lo cual los números negativos son compensados por el stock de animales de la categoría anterior al comenzar los cálculos del año siguiente.

año	Terneros	Novillitos	Novillos	Toritos	Toros	Terneras	Vaquillonas	Vacas	Total
inicio agosto 2006	543				50	574	211	362	1197
balance 2006	543	-251			21	574	185	292	
inicio 2007	0	292	0	0	21	0	574	477	1364
balance 2007	206	-272	0	84	-7	469	-384	-160	
inicio 2008			226		77		659	317	1279
balance 2008	29	-2	0	0	-18	628	-391	-266	
inicio 2009	0	27	0	0	59	0	237	61	384
balance 2009	321	75	-51	0	12	383	-163	140	
inicio 2010	0	321	24	0	71	0	220	238	874
balance 2010	1162	-651	-14	0	3	972	-458	504	
inicio 2011	0	511	307	0	74	0	934	742	2568
balance 2011	2495	-545	-1747	0	-28	768	-107	-461	
inicio 2012	0	0	1021	0	46	0	1595	281	2943
balance 2012	2024	-65	-1519	0	-54	518	-1436	-413	
inicio 2013	0	0	1400	61	48	0	518	23	2050
balance 13	2255	109	-3106	-6	-31	1039	-453	-10	
inicio 2014	0	0	658	0	72	0	1104	13	1847
balance 2014	2400	261	-1320	0	-43	403	47	575	
inicio 2015	0	0	2539	0	29	0	1554	588	4710

Tabla II.i. Movimientos de animales, calculado de manera semejante que en el cuadro anterior, en este caso es por trimestre correspondiente a cada estación del año.

Trimestre	Terneros	Novillitos	Novillos	Toritos	Toros	Terneras	Vaquillonas	Vacas	Total
inicio 2015	0	0	2539	0	29	0	1554	588	4710
1º trimestre de 2015	385	169	-856	1	10	199	-823	-253	
inicio 2º trimestre	0	385	1802	50	11	0	930	335	3513
2º trimestre	1031	79	-479	0	-4	560	-44	-301	
inicio 3º trimestre	515	516	1402	50	7	400	116	964	3970
3º trimestre	-256	-40	-237	-56	-8	-305	-38	8	
inicio 4º trimestre	259	476	1158	0	0	95	78	972	3038
4º trimestre	44	-9	-126	41	-197	450	39	255	
inicio 1º trimestre 2015	303	467	876	0	0	450	212	1227	3535
1º trimestre	1253	-32	-37	0	-6	1195	-103	-308	
inicio del 2º	1253	271	906	394	0	1195	347	1131	5497
2º trimestre	150	-183	-50	0	5	-2	-60	-224	
inicio del 3º trimestre	150	1070	1127	0	5	1193	287	907	4739

Anexo III. Imágenes



Figura III.a. Enfundado del caño con malla plástica.



Figura III.b. Hoyadora utilizada para la perforación



Figura III.c. Caño de PVC colocado en pozo



Figura III.d. Sonda para la medición de la profundidad freática

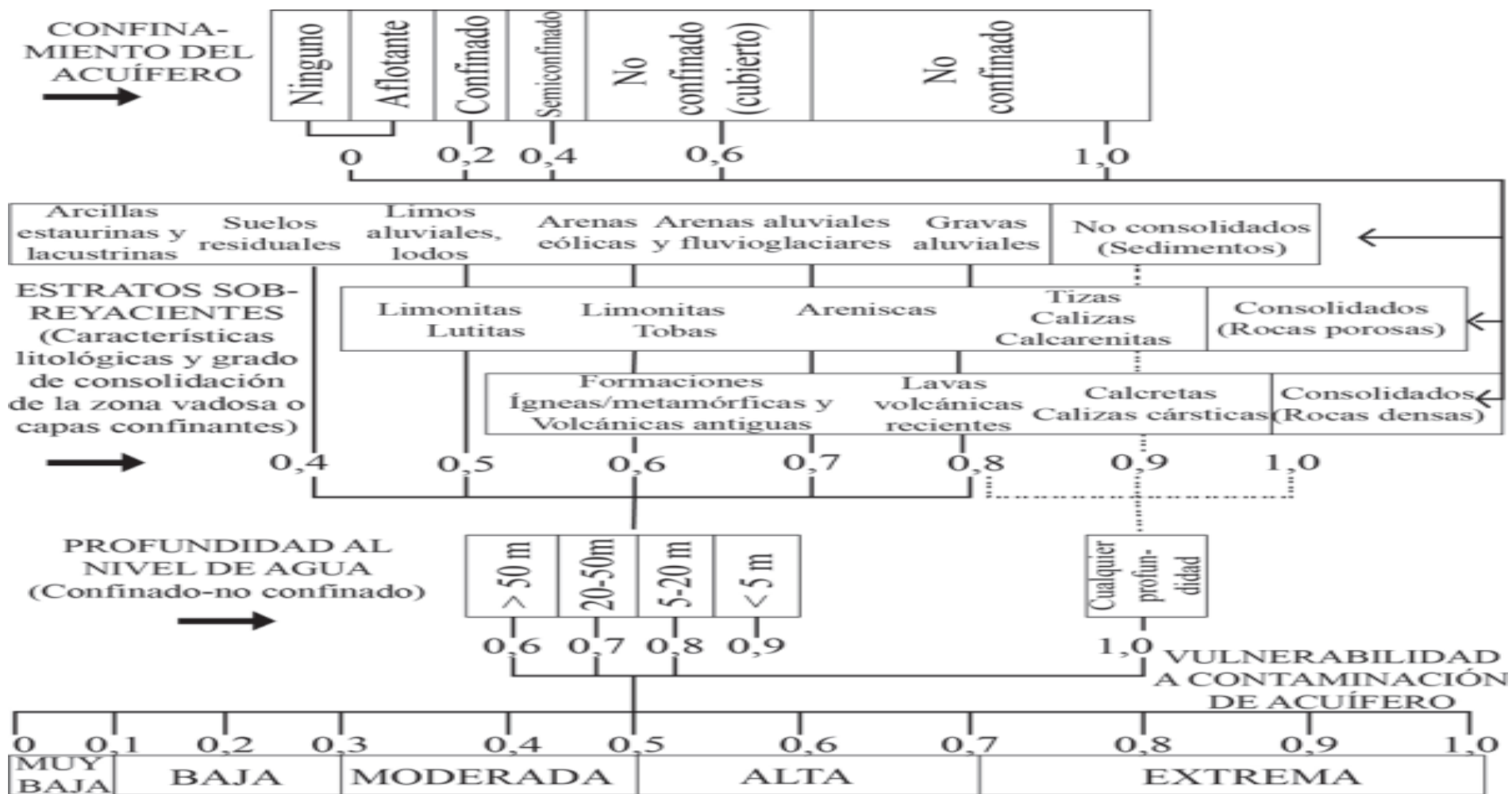


Figura III.d. Sistema para evaluación de vulnerabilidad GOD

