



Facultad de Ciencias - Centro Universitario de Rivera

Licenciatura en Recursos Naturales

Tesis de Licenciatura en Recursos Naturales

USOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD POR
NITRATOS Y ARSÉNICO EN PUNTA ESPINILLO, MONTEVIDEO, URUGUAY.

Estudiante: Bach. Romy González Larrosa

Tutor: Dra. María Paula Collazo

Montevideo, 2023

Dedicatorias

Dedico este trabajo a mi familia en especial a Marcello, Michelle y Nicole quienes han sido mi mayor motivación para nunca rendirme.

A mi madre.

Agradecimientos

A mi tutora, Dra. María Paula Collazo por guiarme en este proyecto.

A Guillermo Chalar y a Sol de Giacomi de la sección de Limnología de la Facultad de Ciencias por colaborar con los análisis de nitrato y de amonio

A La Dra. Valery Bul y BC Paulina Pizzorno del laboratorio de Toxicología de la Facultad de Química por colaborar con los análisis de arsénico.

A María Sahli y profesores de facultad de Ciencias en general

A profesores de la Licenciatura en Recursos Naturales sede Rivera

ÍNDICE

1	Introducción.....	6
2.	Objetivos.....	7
2.1	Objetivo General.....	7
2.2	Objetivos específicos	7
3.	Ubicación área de estudio.....	7
4.	Metodología.....	8
4.1	Gabinete I	9
4.2	Campo.....	9
4.3	Laboratorio:	10
4.4	Gabinete II:	10
5.	Antecedentes.....	10
5.1	Antecedentes hidrográficos	10
5.2	Antecedentes Geológicos	10
5.2.1	Arenas y dunas costeras	11
5.2.2	Formación Libertad (Pleistoceno).....	11
5.2.3	Formación Montevideo (Paleoproterozoico)	11
5.3	Antecedentes Hidrogeológicos	13
5.4	Antecedentes Geomorfológicos.....	13
5.5	Antecedentes de Suelos	15
5.6	Características físicas y socioeconómicas del área de estudio.	16
5.6.1	Clima	16
5.6.2	Economía.....	17
6.	Resultados.....	17
6.1	Clima	17
6.2	Geología.....	19
6.3	Hidrogeología	21
6.4	Piezometría	25

6.5 Hidrogeoquímica	28
6.5.1 Parámetros Físico Químico.	28
6.5.2 Parámetros químicos	30
6.6. Hidrogeológicos.....	31
6.6.1 Parámetros Físico-químicos	31
6.6.2 Parámetros químicos	38
7. Usos del suelo y del sistema hídrico Subterráneo	47
8. Conclusiones.....	49
9. Bibliografía	51
Anexo I. Resultados preliminares de la investigación.....	55
Anexo II. Datos climáticos	56
Anexo III. Datos de temperatura anuales	57
Anexo IV. Resultados de censos de pozos.	58
Anexo V. Datos hidráulicos.....	80

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo principal determinar el uso del agua subterránea y evaluar su calidad en Punta Espinillo en función de las características ambientales y las diferentes actividades antrópicas relacionadas a los usos del suelo.

La metodología propuesta consistió en tareas en campo y gabinete, mediciones de niveles piezométricos y análisis de parámetros físico-químicos, además del muestreo del agua subterránea, para analizar la concentración de nitratos, amonio y arsénico.

Desde el punto de vista hidrogeológico en el área de estudio, las rocas que lo conforman constituyen un acuífero de tipo fracturado. La litología está formada por rocas metamórficas de grado bajo a medio, siendo las rocas granito- gnéissicas las que presentan mayor capacidad hidrológica.

El área de estudio se caracteriza por tener fracturas del tipo tensional, orientadas de norte a sur y este a oeste. El rango de profundidad de las fracturas más frecuente es de 30 a 50 metros.

La densidad media de los pozos en Punta Espinillo es 13 por km². Las perforaciones se encuentran ubicadas principalmente sobre fracturas con orientación norte -sur. El caudal medio es de 10 m³/h de acuerdo con Montaña et al (2000).

De acuerdo con Montaña et al (2000), en un área de 16 Km² se extraen 1144 m³/día, extracción intensiva que conduce a una sobreexplotación del acuífero, manifestándose marcados descensos en los niveles de agua en los diferentes pozos del área de estudio (Montaña et al 2000).

Para poder llevar adelante el análisis físicoquímico del agua subterránea se tomaron 24 muestras del acuífero fisurado. Los resultados de los parámetros físico - químicos del agua subterránea (pH, temperatura, conductividad eléctrica, etc.) presentaron valores aceptables para el consumo humano y para riego, según las normas de calidad vigente (UNIT 833/2008).

En cuanto al análisis de los parámetros químicos se registró un descenso de las concentraciones de nitrato y de amonio en aguas subterráneas con respecto a los monitoreos realizados por Gueréquiz (2004), pero el agua reveló altas concentraciones de arsénico, superando los 0,01mg/L (valor recomendado por la Organización Mundial de la Salud).

Palabras claves: agua subterránea, contaminación por nitratos, contaminación por arsénico en agua subterránea, Punta Espinillo.

1 INTRODUCCIÓN

El agua subterránea en la zona de Punta Espinillo, es el principal recurso hídrico utilizado para la actividad agrícola y satisfacer así la demanda productiva.

Entre los años 1994-2000, se desarrolló el “Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego (PRENADER), financiado por el Banco Mundial, el gobierno y los propios productores, siendo los organismos oficiales, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) y el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) y la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP) los ejecutores.

El objetivo de dicho programa era desarrollar un manejo eficiente de los recursos naturales y el uso del agua para riego. En este sentido más de 100 productores se vieron beneficiados por este programa, realizando pozos para riego y logrando un mejoramiento productivo. La densidad media de pozos en la zona.

En la actualidad la contaminación hídrica es uno de los principales problemas ambientales, el cual fue trascendiendo en el tiempo a nivel global. El incremento de su consumo y de la creciente contaminación hacen que haya un aumento en las preocupaciones sobre la calidad y cantidad de dicho recurso (DINAMA, 2020). El constante aporte de contaminantes a las aguas subterráneas, se debe principalmente a la acción antrópica, estas pueden ocasionar marcados procesos de deterioro, comprometiendo negativamente la calidad del agua, los cuales podrían afectar el bienestar humano y provocar verdaderos desequilibrios en los diferentes hábitats naturales (Cassol *et al.*; 2002)

El nitrógeno (nitrato o amonio) es un elemento fundamental en los seres vivos, se puede obtener directamente de la naturaleza o de diferentes acciones antrópicas como ser la agricultura (Cassol *et al.*; 2002). El mismo desempeña un papel fundamental en el desarrollo vegetativo, si bien es abundante en el medio, se puede encontrar a través de diferentes sustancias orgánicas o inorgánicas. La utilización de fertilizantes nitrogenados en las distintas actividades agropecuarias sin el debido uso y gestión hacen que estos fertilizantes ocasionen grandes desequilibrios en aguas subterráneas. Las pérdidas de nitrato se producen cuando las concentraciones en el suelo son elevadas y cuando se establecen marcados movimientos de descenso del agua en el perfil del suelo; este comportamiento está dado principalmente por escurrimientos por intensas lluvias o por la realización de regadíos intensivos (Kimmell *et al.*;2002).

El arsénico (As), es un contaminante natural del sistema hídrico subterráneo. La presencia de este elemento en aguas subterráneas despierta gran preocupación ya que un elevado porcentaje de la población rural del país se abastece de agua subterránea.

Durante el periodo de 1994- 2003, el sistema acuífero principal de la zona fue estudiado rigurosamente, como se ha mostrado en los antecedentes. De esas investigaciones surgió que la zona había sufrido una importante degradación, con niveles elevados de nitratos,

superando los límites nacionales e internacionales, y siendo la causa principal, las prácticas impropias de la agricultura, principalmente la horticultura. Además, la zona requirió importantes volúmenes de agua subterránea que eran captados de los pozos, con descensos y agotamiento de pozos.

Con la finalización de PRENADER, y desde la última investigación que se realizó en el 2003, no se han realizado o reportado otros estudios en la zona, no se han realizado mediciones o controles, para evaluar el comportamiento del acuífero en cuanto a su degradación. Han pasado casi 20 años y se desconoce el estado actual del recurso hídrico subterráneo en Punta Espinillo, es por lo tanto imprescindible evaluar la situación actual, desde la hidráulica (realizando la piezometría y observando si continúan los descensos por realización de nuevos pozos) y desde la hidrogeoquímica (evaluando la calidad del recurso, específicamente la contaminación por nitratos y arsénico).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar los usos del agua subterránea en Punta Espinillo, Montevideo y evaluar la calidad en función de la concentración de amonio (NH₄⁻), nitrato (NO₃⁻) y arsénico (As).

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar el uso y el manejo actual del agua subterránea
2. Evaluar el impacto de las actividades sobre el recurso hídrico subterráneo.
3. Evaluar la dinámica del agua subterránea y su comparación temporal, a través del análisis de niveles estáticos pasados y presentes de los pozos existentes.
4. Analizar las concentraciones de los iones nitrato y amonio y determinar las zonas contaminadas y de mayor riesgo para el consumo humano y riego de cultivos.
5. Analizar la concentración de arsénico en agua subterránea y determinar las zonas de mayor concentración y que presentan riesgo a la salud por consumo o riego de cultivos.

3. ÁREA DE ESTUDIO.

El área de estudio se sitúa al Oeste del Departamento de Montevideo, comprendiendo un área aproximada de 14 km². Limita al S y O con el Río de la Plata y al N y E con la Ruta N ° 1, Brigadier General Manuel Oribe como se observa en la figura1 (Figura 1).

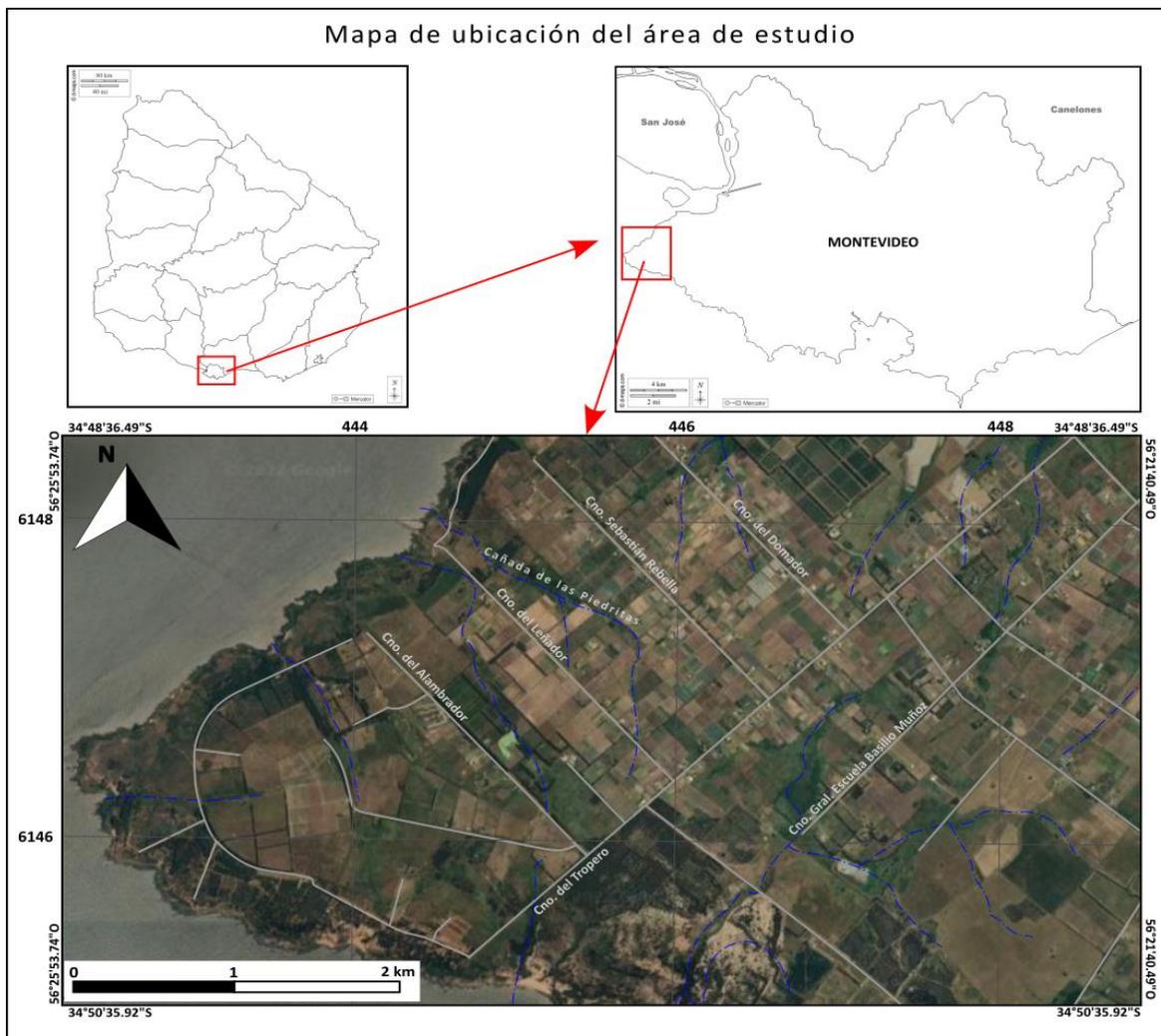


Figura 1: Mapa de Ubicación del Área de Estudio. Fuente: Tomado de Imágenes de Google Earth.

El acceso principal desde Montevideo, es la Ruta 1, hasta Santiago Vázquez, continuando por camino Gral. Escuela Basilio Muñoz, camino también de acceso a Unidad 4 “Santiago Vázquez “CONCAR”, hasta Camino Punta Espinillo, Camino principal del área de estudio.

El área se ubica entre las coordenadas geográficas: S 34°48'36.49", 34° 50' 35.92 y O 56°25'53.74", 56°21'40.49".

4. METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos propuestos, se realizaron tareas de gabinete, campo y laboratorio. Las tareas de gabinete se dividieron en dos etapas: gabinete I, que abarca el análisis primario y un gabinete II, que abarca el análisis y procesamiento de datos obtenidos en todas las etapas y la redacción de la tesis.

4.1 Gabinete I

1. Revisión, análisis e interpretación de datos existentes. Para el análisis se consideraron publicaciones en revistas nacionales e internacionales. Para el análisis de la evolución temporal y espacial de la piezometría de la zona, se consideró la tesis de maestría de Aurora del Rosario Guèréquiz (2004).

Como base para la geología del área de estudio, se utilizó la Carta Geológica del departamento de Montevideo, escala 1:50.000 año 1985 y la Carta Topográfica, (K29) La Barra, escala 1:50.000, del Servicio Geográfico Militar, como base para la piezometría. Se utilizaron los visualizadores de la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE) y de la Dirección Nacional de Agua (DINAGUA) para el reconocimiento de los pozos en el área de estudio.

2. Ingreso de datos existentes a un sistema de información geográfica (SIG), se utiliza el QGIS, de código abierto, diseñado específicamente para esta investigación.

3. Diseño y confección de planilla de datos de pozo para censo de pozo y de actividades prediales. Los pozos fueron elegidos y censados según la base de datos de DINAMIGE y el censo realizado por Guèréquiz en su tesis de maestría, los pozos censados pertenecen en su totalidad a la zona de estudio. Los mismos están emplazados en predios rurales que desarrollan actividades agropecuarias, de recreación (camping) y residencial.

4.2 Campo

La actividad de campo consistió en visitar los predios que contaban con pozos, ubicados y seleccionados en la etapa de gabinete I. El inventario y censo de pozos consistió en obtener información constructiva del pozo, hidráulica y química. La metodología para cada uno de los datos obtenidos es la siguiente:

1. La ubicación del pozo: se obtuvieron las coordenadas geográficas, mediante utilización de GPS de mano, marca Garmin y así ubicarlos en el SIG.

2. El nivel del agua en el pozo, se obtuvo utilizando sonda numerada a centímetro, marca SOLINST, modelo 101.

3. La profundidad del pozo, se obtuvo utilizando sonda numerada, marca SOLINST, modelo 101. En casos donde no se pudo medir, se utilizó el dato de la profundidad proporcionada por el propietario u obtenida de los visualizadores de DINAGUA y/o DINAMIGE.

4. El caudal, se obtuvo a partir de la información que proporcionó el productor, Guèréquiz (2004) y del visualizador de DINAGUA.

5. El trabajo diferencia entre pozos brocales y semisurgentes, los primeros son más vulnerables a la contaminación.

6. Los parámetros físico-químicos del agua subterránea, se midieron utilizando sonda multiparamétrica marca HANNA, modelo 9829, que permite la obtención de los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, total de sólidos disueltos, turbidez, temperatura, potencial de óxido reducción.

7. La toma de muestra de agua subterránea, se realizó según protocolo de muestreo.

4.3 Laboratorio:

La determinación de amonio y nitrato, se realizó en el laboratorio de la sección de Limnología de la Facultad de Ciencias gracias a la colaboración conjunta con la Sección de Recursos Hídricos Subterráneos del instituto de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias (UDELAR). La determinación de arsénico se llevó a cabo en el Centro Especializado en Química Toxicológica (CEQUIMTOX) en Facultad de Química.

4.4 Gabinete II:

1. Procesamiento e interpretación y análisis de los datos obtenidos, en campo y laboratorio.

3. Realización de mapas: piezométrico, nitrato, amonio y arsénico.

4. Interpretación de resultados, conclusiones.

5. ANTECEDENTES

5.1 Antecedentes hidrográficos

Punta Espinillo está ubicada en la cuenca del Río Santa Lucía, al sur del territorio nacional. Dicha cuenca tiene su nacimiento en la Cuchilla Grande, noreste de Minas, desaguando sus aguas en el Río de La Plata. Se caracteriza por tener un cuantioso número de afluentes que lo llevan a desarrollar un importante sistema hidrográfico. La misma es de suma importancia ya que es la principal reserva hídrica a nivel país, se encarga de abastecer de agua potable al departamento de Montevideo y departamentos aledaños. Más del 32% de la población rural nacional se concentra en esta región para la práctica de actividades agropecuarias. Es imprescindible mantener y conservar la calidad de la reserva hídrica ya que este territorio es uno de los principales centros de producción de alimentos a nivel nacional (Achkar, 2012).

5.2 Antecedentes Geológicos

El área de estudio se ubica en terreno de Piedra Alta al oeste del lineamiento Sarandí del Yí-Piriápolis. Está conformada por rocas metamórficas de bajo a mediano grado, siendo rocas gnesicas las litologías que presentan mayor capacidad hidrogeológica, debido a su alta densidad y porosidad de fractura (Rosello, 2001) .

El área presenta fracturas del tipo tensional con orientación norte-sur y este-oeste. La profundidad promedio de las mismas se encuentran entre los 30 y 50 metros, ya que por debajo de esta cota resulta difícil el hallazgo de estas fisuras abiertas, debido al peso propio de la estructura (Gueréquiz, 2004).

Punta Espinillo se caracteriza por estar conformado por la Formación Montevideo y Formación Libertad, (Bossi, et al, 1998)(Figura 2).

5.2.1 Arenas y dunas costeras

Los depósitos de dunas costeras aparecen asociados al litoral del Río de la Plata y Océano Atlántico. Se trata de arenas sueltas, de grano medio a fino, estratificadas, a veces feldespáticas, acumuladas por el viento del SE. Las arenas son cuarzosas de grano medio, bien seleccionadas, de forma predominantemente redondeada. (Bossi et al., 1998).

5.2.2 Formación Libertad (Pleistoceno)

Definida y caracterizada por Goso (1965), la Formación Libertad se encuentra presente sobre diferentes litologías del Terreno Piedra Alta. Esta formación abarca una gran extensión superficial del sur oeste del departamento de Montevideo La misma está conformada por lodolitas macizas pardas fiabiles con arena gruesa dispersa y carbonato de calcio de diferentes formas: pulverulentas, concreciones huecas, ovoides o ramificadas, con espesores inferiores a 15 metros (Goso, 1965).

Este tipo de formación presenta rocas sedimentarias pelíticas (loes y lodolitas) y están presentes en el 60 % de la superficie metropolitana (Bossi et al, 2016).

La característica principal de esta formación es la estructura y composición del suelo, la misma presenta suelos bien desarrollados con un marcado horizonte orgánico A, que varía de 0.60 a 1 metro de espesor, seguido de un horizonte B textural argilúvico, con arcillas expansivas. Su estructura establece la dinámica de infiltración profunda (Bossi et al, 2016).

5.2.3 Formación Montevideo (Paleoproterozoico)

La Formación Montevideo es un cinturón metamórfico ubicado al sur del Cratón del Río de la Plata (Bossi & Navarro, 1988), la misma está constituida por una secuencia de rocas sedimentarias y de origen volcánico (Bossi et al 1998).

La secuencia sedimentaria está constituida por:

- Anfibolitas: Es una litología que se reconoce únicamente en el departamento de Montevideo, son rocas metamórficas compuestas esencialmente de hornblenda y plagioclasa, son una de las rocas más comunes, la cual se forma por metamorfismo

regional, de grado moderado a alto. Su textura puede ser variada, foliada de grano grueso o fino, homogéneas o esquistosos, y pueden presentar una apariencia manchada o lavada dependiendo la segregación de los minerales oscuros. Su formación se da a través de diferentes rocas que presentan variada composición, pudiéndose mencionar: las rocas ígneas máficas y ultramáficas (Graterol et al, 2013).

- Mica-esquistos: Pertenece a las rocas metamórficas, está compuesta por mica, cuarzo y otros minerales. El gris es el color predominante y presenta una elevada esquistosidad que está dada por la orientación de las escamas que presenta la mica. Se pueden percibir en la costa Suroeste del departamento de Montevideo y parte oeste del departamento de Canelones (Guerequiz, 2004).
- Gneis grafitico, roca metamórfica semi foliada de origen ígneo, presentan una textura grano- lepidoblástica. Están formadas por fenocristales de ortosa, cuarzo, plagioclasas de color rosa pálido, algunos cristales de biotita y muscovita, y Presentan un grano fino; aflorando en la costa del Río de La Plata, en puntas rocosas. Este tipo de afloramiento están presente en mayor proporción en la zona de estudio (Guerequiz, 2004).

La secuencia volcánica está constituida por:

- Ortogneises graníticos: Están conformadas por cuarzo, oligoclasa a andesina y biotita, su grano es medio a grueso presentando una esquistosidad mal definida, su textura dominante está caracterizada por ser maciza de grano fino y presenta fenómenos de gramatización ortoanfibolitas producto del metamorfismo de rocas efusivas. Las mismas presentan un alto grado de resistencia a la intemperie (Bossi et al., 1998).
- Ortoanfibolitas: Las mismas provienen del metamorfismo de rocas efusivas básicas, se caracterizan por presentar una textura masiva de grano fino, con augita de basaltos originales Son altamente resistentes a la meteorización (Gueréquiz, 2004).

Según Montaña *et al* (2000) el área de estudio presenta tres tipos diferentes de fracturas: En primer lugar están las Diaclasas de tensión($a=1$), generan acuíferos pobres debido a la escasa o nula interconexión entre fracturas. En segundo lugar se encuentran las Diaclasas de Tensión($a=2$), estas generan acuíferos con gran capacidad de almacenamiento debido a su origen extensional y a la formación de redes de fracturas interconectadas. Estas se caracterizan por estar presentes en el área de estudio. Y por último se encuentran las Fracturas de Cizalla o corrimiento, estas se manifiestan de diversas formas. Dependiendo directamente de las presiones residuales, pueden estar abiertas o cerrada.

A continuación (figura 2): se detallan las diferentes unidades geológicas presentes en el área:

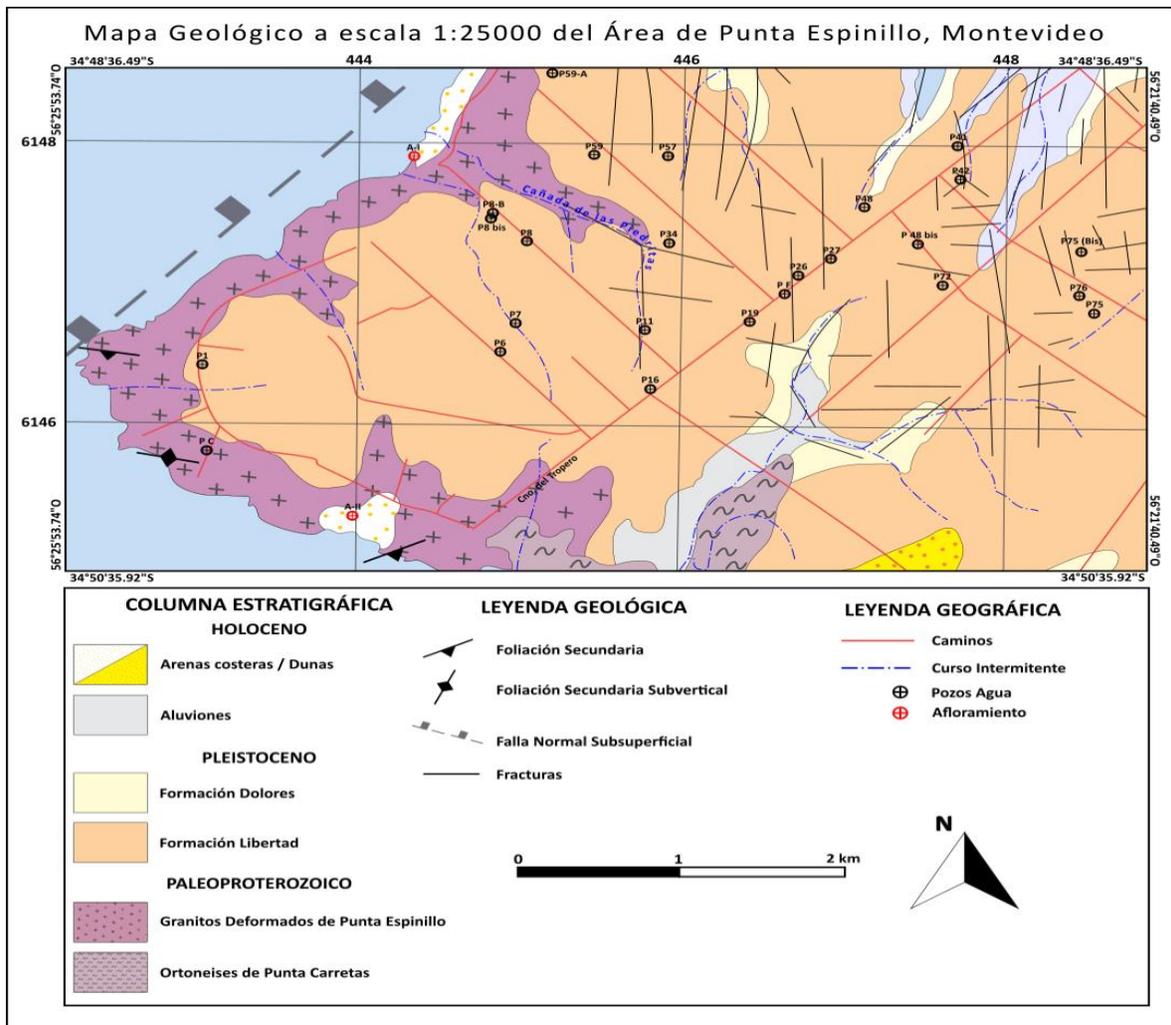


Figura 2: Mapa Geológico y estructural de Punta Espinillo con ubicación de pozos. Fuente: Mapa Uruguay a escala 1:100000 Modificado (Spoturno et al.2004)

5.3 Antecedentes Hidrogeológicos

Con respecto a los antecedentes hidrogeológicos, la zona fue estudiada a partir del año 1998, por el Dr. Jorge Montaña, quien fue responsable del “Proyecto del acuífero fracturado en Punta Espinillo” en el marco del Programa PRENADER, ejecutor de un gran número de pozos a productores de la zona. Este proyecto generó una gran base de datos de pozos, carta geológica y estructural, análisis químicos entre otros. Posteriormente y en el marco de este proyecto de investigación sobre acuíferos fracturados, Gueréquiz (2004) culmina su tesis de maestría, completando la base de datos ya existente y publicando nuevos resultados de análisis químicos.

Estos antecedentes en orden cronológica ascendente son:

- Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego (PRENADER) (1998). Unidades ejecutoras: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP), Ministerio de Transporte y Obras Pública (MTO), y la Oficina de Planeamientos (OPP). El programa tenía el objetivo de aumentar la inversión en el sector rural, llevando a cabo un uso más intensivo y racional del agua para riego acompañado de prácticas conservacionistas.
- Montaña J. *et al* (2000). El presente trabajo hace una categorización geológica e hidrogeológica del medio para llevar adelante una planificación de la explotación del acuífero.
- Montaña, J. (2002). En este trabajo se establece el grado de sobreexplotación del acuífero a partir del estudio del caudal extraído y los descensos de los niveles estáticos y establece una planificación en cuanto al uso del acuífero para evitar el agotamiento del recurso y la intrusión salina.
- Guéréquiz, R. (2004). En esta investigación se evalúa las características hidroquímicas y el impacto de las actividades agrícolas en la calidad del agua del acuífero y con ello la problemática de las altas concentraciones de nitratos.
- Guéréquiz, R. (2004). En esta investigación se realizó un estudio Hidroquímico de un acuífero fracturado en rocas Precámbricas en la Costa del Río de la Plata.
- Collazo, et al (2016) Resultados Preliminares. En el marco de este proyecto es que se desarrollaron los análisis químicos de arsénico.

5.4 Antecedentes Geomorfológicos

Punta Espinillo se sitúa al suroeste de la Fosa tectónica del Santa Lucía, la misma es considerada una de las fosas cretácicas de mayor importancia debido a las características de los sedimentos cretácicos terciarios y cuaternarios correspondientes a la formación Libertad (Panario, 1988).

Según la información obtenida de la carta de suelos de Dirección General de Recursos Naturales (DGRN) escala 1:40.000, la geomorfología de la zona de estudio presenta un relieve que va desde lomadas suaves a fuertes, con zonas de planicies y valles costeros. Los sedimentos presentes son de origen Cuaternario, Cuaternarios Pleistocénicos modernos y Holocénicos, pertenecientes a la formación Libertad (MGAP).

El área de estudio, presenta una altura sobre el nivel del mar variable, desde 15 a 35 metros, según la carta topográfica escala 1:50.000 (K29) Barra, del Servicio Geográfico Militar (Instituto Geográfico Militar).

Grupo 10.8 a- Este grupo pertenece a laderas convexas, donde el riesgo de erosión es alto. Es una región donde se han desarrollado cultivos anuales de forma continua y sin ninguna medida de conservación de suelos.

Grupo 10.6 a- El material geológico corresponde a sedimentos limo arcillosos del Cuaternario, de color pardo a pardo naranja. Los suelos predominantes son: Brunosoles subeutricos, a veces eutricos, trípticos, y Lúvicos, cuya textura es francolimosa, con una fertilidad alta moderadamente bien drenados. El uso predominante del suelo es hortícola, frutícola y de cultivos a pequeña escala, chacras.

Grupo 10.6 b- Presenta características similares al anterior, pero la diferencia radica principalmente en el alto grado de erosión (erosión severa) y que las tierras no sirven para cultivos en forma intensiva, pasando a ser de uso pastoril, según el estado del suelo.

Índice de Productividad de suelos de Punta Espinillo.

La figura 4 que se expone a continuación, representa el índice de productividad de la zona de estudio, los datos obtenidos rondan entre los valores 111 a 140, lo que permite decir que dicha zona representa un índice de productividad medio.

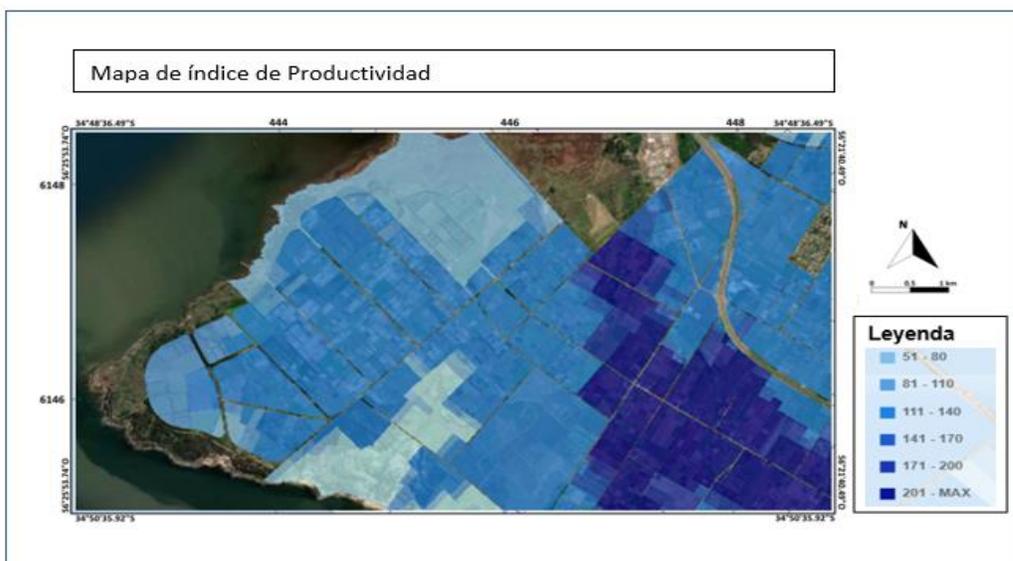


Figura 4: Mapa de índice de productividad. Fuente: Modificado de Dirección General de Recursos Naturales (MGAP).

5.6 Características físicas y socioeconómicas del área de estudio.

5.6.1 Clima

Según la clasificación climática de Wladimir Koppen Uruguay presenta una clasificación: CAF (Instituto Uruguayo de Meteorología, 2011).

- Templado, moderado, lluvioso; tipo “C”
- Temperatura del mes más cálido superior a 22°C; tipo “a”
- Temperie húmeda; tipo “f”

A nivel nacional el clima se caracteriza por estar en su totalidad en la zona templada, la temperatura media anual es de 17 °C, registrándose las temperaturas más altas en el norte del país (44°C) en el mes de enero y las más bajas en el noreste del territorio en invierno con temperaturas que oscilan entre los 5 °C y a 15 °C (Severova, 1997), recibe vientos NE (anticiclón semipermanente del Atlántico) y SW (Anticiclón del Pacífico) (Severova, 1997).

Si bien las precipitaciones rondan en valores cercanos a los 300 -350 mm. por trimestre en las diferentes estaciones del año, se puede observar que existen marcadas diferencias a nivel estacional y zonal (Barreiro et al., 2019).

En las estaciones de primavera, verano y otoño se desarrollan de forma latitudinal, es decir las mismas presentan mayores registros en el norte del país con valores de 400 mm., mientras que el sur 300 mm. En invierno estas se manifiestan longitudinalmente presentando los mayores valores al este de la región con valores cercanos a 300mm. Mientras que para el oeste los registros son de 200mm. (Barreiro et al., 2019).

Si se hace un balance anual entre precipitaciones y evaporación el mismo arroja un valor positivo, ya que se producen más precipitaciones que evaporación, pero esto no se dan a nivel estacional, en verano la evaporación excede los valores de las lluvias (Barreiro et al., 2019).

5.6.2 Economía

El Departamento de Montevideo cuenta con una superficie de 530 Km², el 60 % se clasifica como área rural. A pesar de las reducidas superficies productivas que presentan estas áreas se puede observar que las mismas aportan más del 3% al producto bruto agropecuario nacional (Intendencia de Montevideo, 2014).

Punta Espinillo, perteneciente a una de estas áreas rurales de Montevideo cuenta con una extensa producción hortícola y frutícola. Es a partir del 2020 que diferentes empresas pasan a formar parte del Parque Agroalimentario-UAM, Unidad Agroalimentaria Metropolitana. Estas empresas están formadas por pequeños productores familiares que arriesgan al crecimiento a partir de nuevos emprendimientos, como ser la comercialización mayorista.

6. RESULTADOS

6.1 Clima

Datos de precipitaciones

A partir de la representación gráfica (figura 5) realizada con datos obtenidos del total de las precipitaciones anuales recopiladas de la Estación Meteorológica Melilla - Aeropuerto Internacional Ángel S. Adami durante el período 1991-2021 (Anexo II), se puede observar que el área de estudio presenta el mayor registro de precipitación anual en el año 2014 con valores de 1964.1mm.; registrando en este año el mayor valor mensual de precipitaciones en el mes de enero con un valor de 347,2 mm. Y el menor registro anual, se observa en el año 2008, con un valor de 649,1 mm. siendo noviembre el mes que registra los menores niveles de precipitación con 3,8 mm.

Pero si analizamos la tabla de datos (ver anexo II) correspondiente a las precipitaciones mensuales a lo largo del mismo periodo, se puede decir que el mes que presenta el mayor número de precipitaciones es marzo del 2002 con un total de 483,9mm. y el menor en el mes de diciembre de 2021, con 3,2mm.

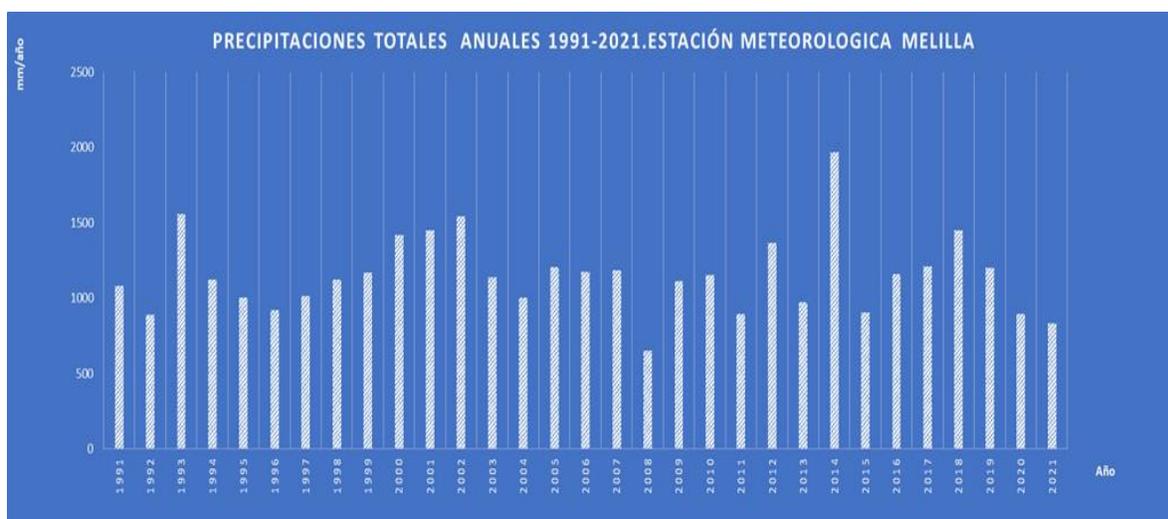


Figura 5: Gráfico del Total de las Precipitaciones Anuales, Período 1991-2021.

Datos de temperatura

Para llevar adelante el análisis de la temperatura de la zona de estudio, se tomaron en cuenta los datos recopilados de la estación de Meteorología de Melilla -Aeropuerto Internacional Ángel S. Adami (ver anexo II), de la que se calculó una temperatura media de 17,69 °C, también se estableció que el mes con mayor registro de temperatura fue enero con una media de 23,67°C y el menor registro se dio en junio con una media de 1,65°C (ver anexo II,).

Enero del 2012 fue el año que se registró la máxima temperatura, con un valor de 39,6 °C y julio del 2007 la temperatura mínima, con un valor de -2,5 °C.

En la representación gráfica del clima (figura 6), realizada a partir de los datos recopilados de la estación meteorológica antes mencionada, se puede apreciar la relación de los totales

de precipitaciones mensuales y las temperaturas medias mensuales establecidas en el área de estudio.

Se observa que las precipitaciones están presentes a lo largo de todo el año en el periodo 1991-2021, siendo los meses de abril, marzo y febrero los meses con mayores registros y los menores mayo, agosto y septiembre. En cuanto a la temperatura, varían a lo largo del año, mostrando así los mayores valores hacia los meses de verano y un marcado descenso en los meses de invierno donde se registran las temperaturas medias más bajas.

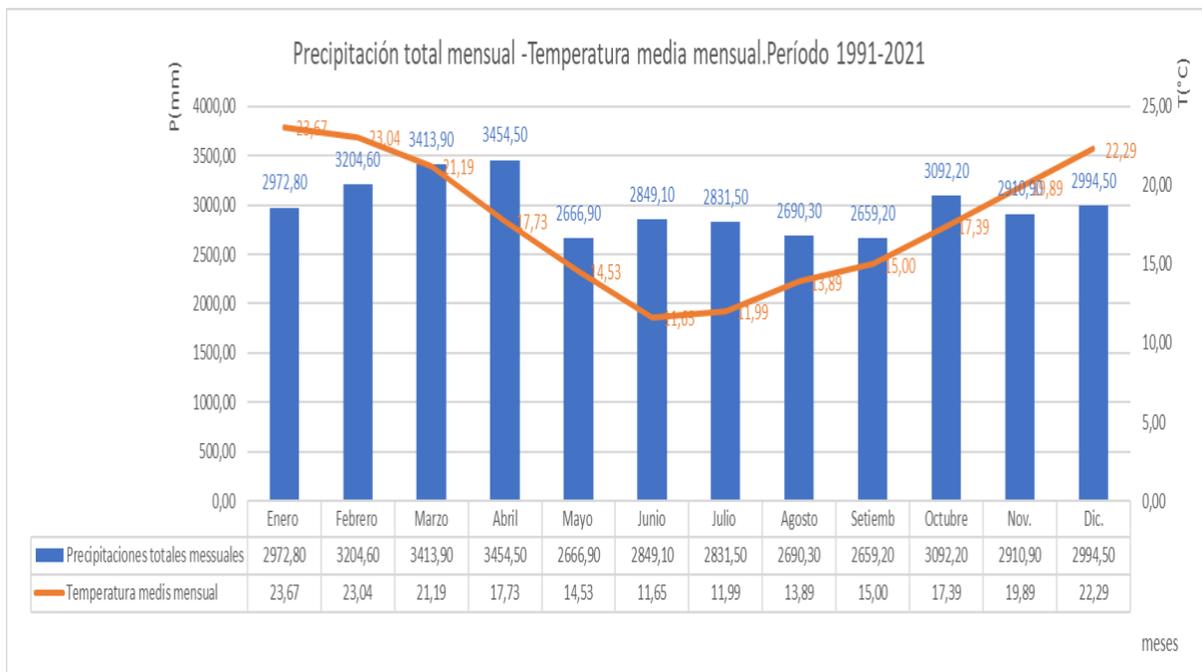


Figura 6: Climograma: Precipitación Total Mensual vs Temperatura Media Mensual.

6.2 Geología

Formación Montevideo (Paleoproterozoico)

Rocas granito-gnéisicas pertenecientes a la Formación Montevideo, se observaron aflorando solamente en la costa del área de estudio. Los afloramientos se caracterizan por ser de gran tamaño, con dirección este-oeste. En muestra de mano, se observa el Cuarzo y los Feldespatos, de coloración rosada y de grano fino a medio. (Figura 7)

Dunas y Arenas Costeras (actual)

Las arenas y dunas costeras se observan solamente en la costa del área de estudio, cubriendo a rocas de la Formación Montevideo. Se trata de arenas sueltas, de grano medio a fino, finas, cuarzosas y redondeadas. (Figura 8)



Figura 7: a. Afloramiento Costero A-I. b, c y d, Afloramiento de rocas granito gnéissicas de grano fino. En muestra de mano se distingue el cuarzo y los feldspatos



Figura 8: a. Afloramiento Costero A-II. b. Arco de playa, afloramiento de rocas granito gnéissicas y arenas costeras, c y d. Dunas y arenas costeras recientes. Arena fina a media, cuarzosas, redondeadas, de color blanquecino.

6.4 Hidrogeología

El acuífero principal, corresponde a rocas granítico gneisicas del Terreno Piedra Alta, constituyendo un acuífero de tipo fracturado.

Se comporta como acuífero de tipo semiconfinado al estar cubierto en un 90% del área por la Formación Libertad.

La recarga se da principalmente por infiltraciones de arroyos encausados en fracturas donde el agua circula y se almacena por fracturas interconectadas formando buenos acuíferos. La recarga por precipitación se da solamente en las áreas costeras donde las rocas afloran. La Formación Libertad limita en gran parte del área la recarga de este acuífero.

Para poder caracterizar el acuífero, y determinar cambios en la piezometría del área por bombeo, se analizaron los resultados del censo de pozos, con los siguientes resultados:

Profundidad

Se analizaron las profundidades totales de los pozos, para determinar la profundidad de la fracturación. A partir de los datos recolectados, el mayor valor de profundidad total de pozo se registró al noreste de la zona de estudio en el pozo 75bis con 74 metros y el menor al noroeste, en los pozos 8bis y 8 b, con 36 metros (Anexo V).

Los pozos están en su gran mayoría ubicados en fracturas con orientación norte - sur. Según el gráfico de frecuencia de profundidad del Acuífero (figura 9), se observa que la profundidad más frecuente de captación se encuentra entre 40 y 60 metros.

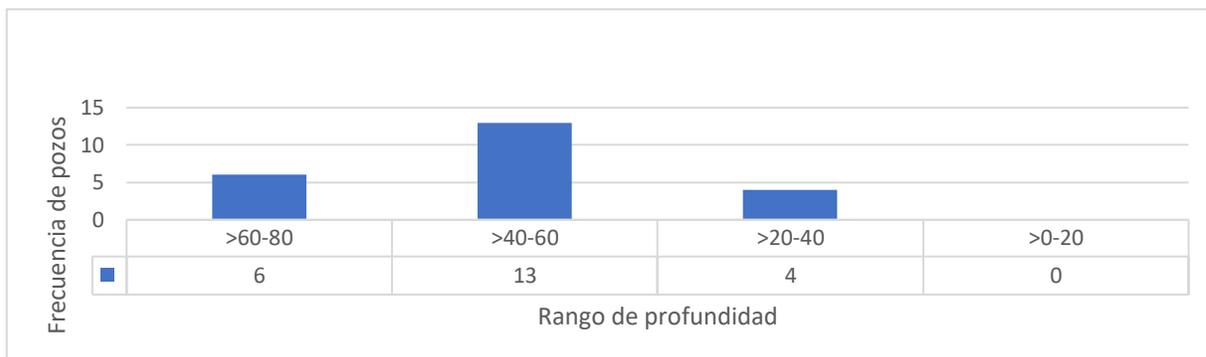


Figura 9: Gráfico de Frecuencia de Profundidad Total de Pozos.

Caudal

De acuerdo a los datos obtenidos en campo, el caudal promedio de 15 pozos es de 12,9 m³/h.

El mayor caudal se encuentra en el pozo P8 al noroeste de la zona de estudio, con 40 m³/h, y el menor caudal se registra en el pozo P59 al noroeste con 3 m³/h (Anexo V).

En el gráfico de frecuencia de caudal para el año 2022 se observa que los rangos no presentan diferencias significativas entre ellas (figura 10).

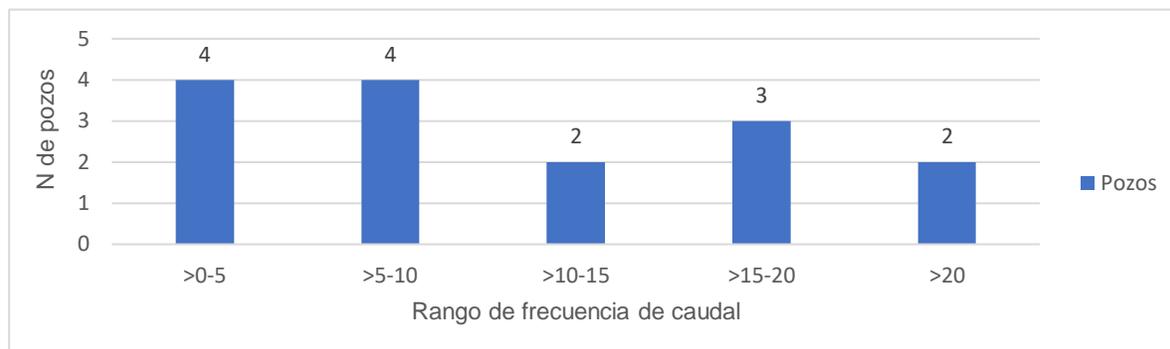


Figura 10. Gráfico de Frecuencia de Caudal 2022

A partir de la comparación de frecuencia del caudal, obtenida de la base de datos del 2005 y 2022 (figura 11) se observa que los mismos se mantienen estables en el tiempo ya que las modificaciones son pequeñas con respecto a las condiciones iniciales.

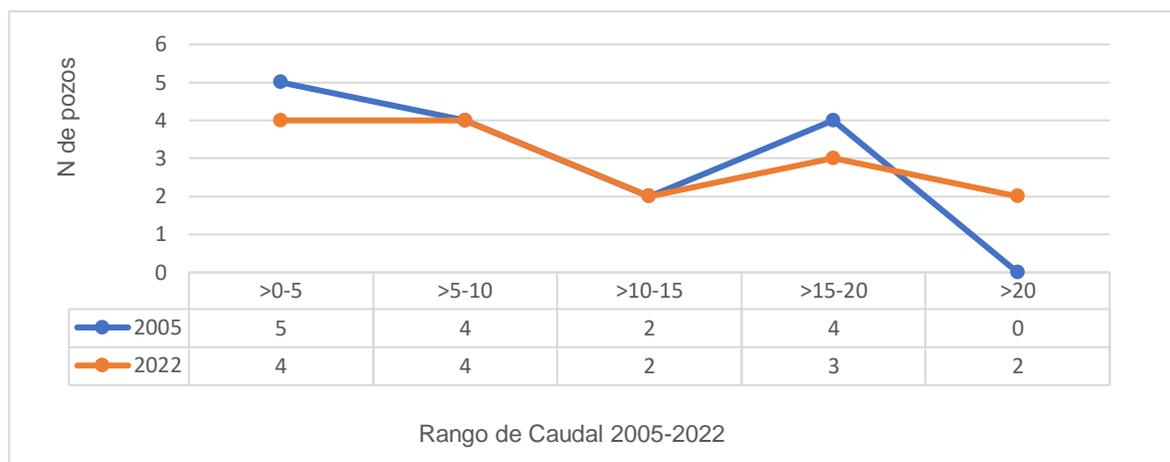
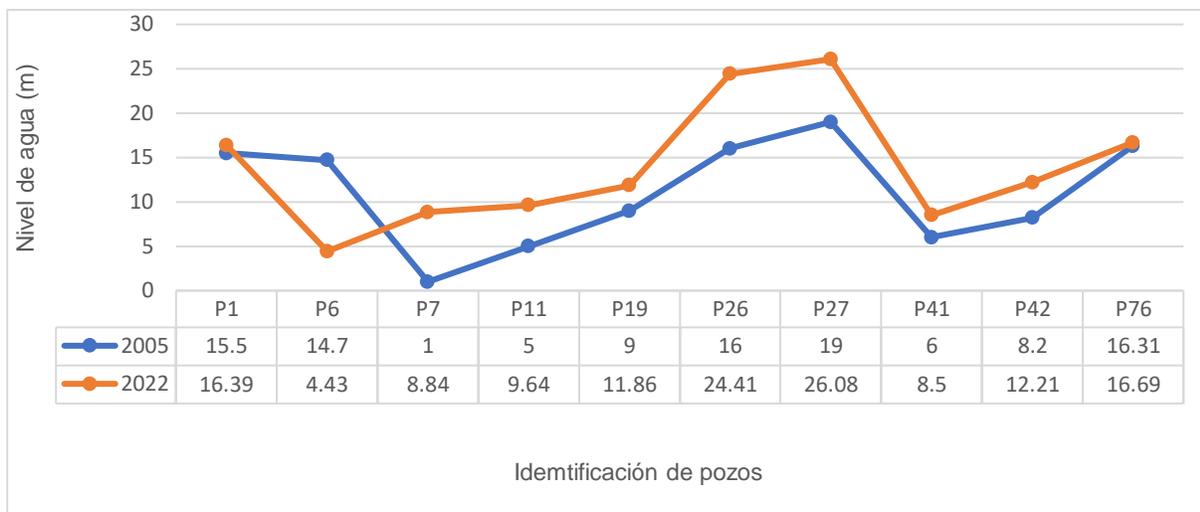


Figura 11. Gráfico de comparación de frecuencia de Caudal 2005 y 2022.

Nivel Piezométrico

En base al nivel de agua medido en los pozos, los mayores registros para el 2022 se ubican al noreste del área de estudio, con un máximo de profundidad de nivel de agua de 26,08 metros en el pozo P27 y un mínimo de 4,43 metros en el pozo P 6 al noroeste (Anexo V).

A partir de la observación y comparación de la evolución de los niveles de agua en los pozos de los años 2005 y 2022 (figura 12) se puede decir que después de 17 años se registra un proceso de descenso generalizado de los niveles, salvo el pozo P6 que registra un ascenso.



	P1	P6	P7	P11	P19	P26	P27	P41	P42	P76
Descenso	0,86	10,27	7,84	4,64	2,86	8,41	7,08	2,5	4,01	0,38

Figura 12. Gráfico de Comparación de Nivel Fracturado 2005 y 2022 de agua en pozos del Acuífero

A partir de la comparación de los descensos del nivel de agua en los pozos (2005-2022), por rangos, observamos que los descensos se dan en todos los pozos monitoreados y los mayores descensos ocurren en los rangos 5 a 10 metros y de 15 a 20 metros (descenso) y el rango mayor de 25 metros (aumento)

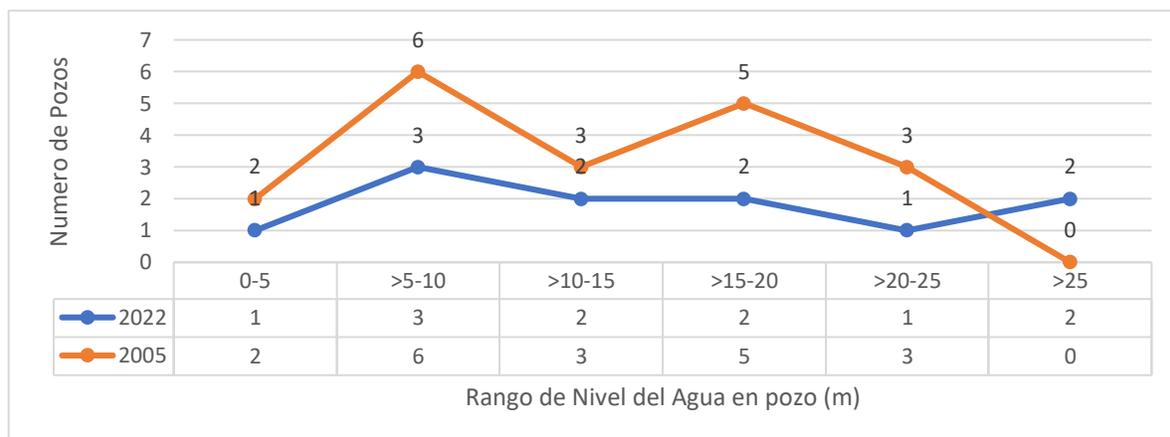


Figura 13. Gráfico de rangos de nivel de agua de pozos (2005-2022).

6.4 Piezometría

Debido a las constantes oscilaciones naturales y artificiales (inducidas por sobre explotación) del nivel del agua subterránea es que se realiza la piezometría del acuífero para determinar la superficie piezométrica y dirección del flujo.

El nivel piezométrico se obtuvo a partir del nivel de agua medido en el pozo y la diferencia con la cota topográfica a partir del monitoreo de 11 pozos y permitió elaborar el mapa piezométrico que se presenta a continuación (figura 14). El mapa está representado por líneas equipotenciales (isopiezas)

Las isopiezas se muestran de acuerdo al valor piezométrico. Los valores más altos presentan mayor carga hidráulica y los más bajos menor carga hidráulica.

En el mapa piezométrico las flechas indican la dirección y el sentido del flujo del agua subterránea con orientación ortogonal a las isopiezas y en sentido decreciente de los potenciales hidráulicos.

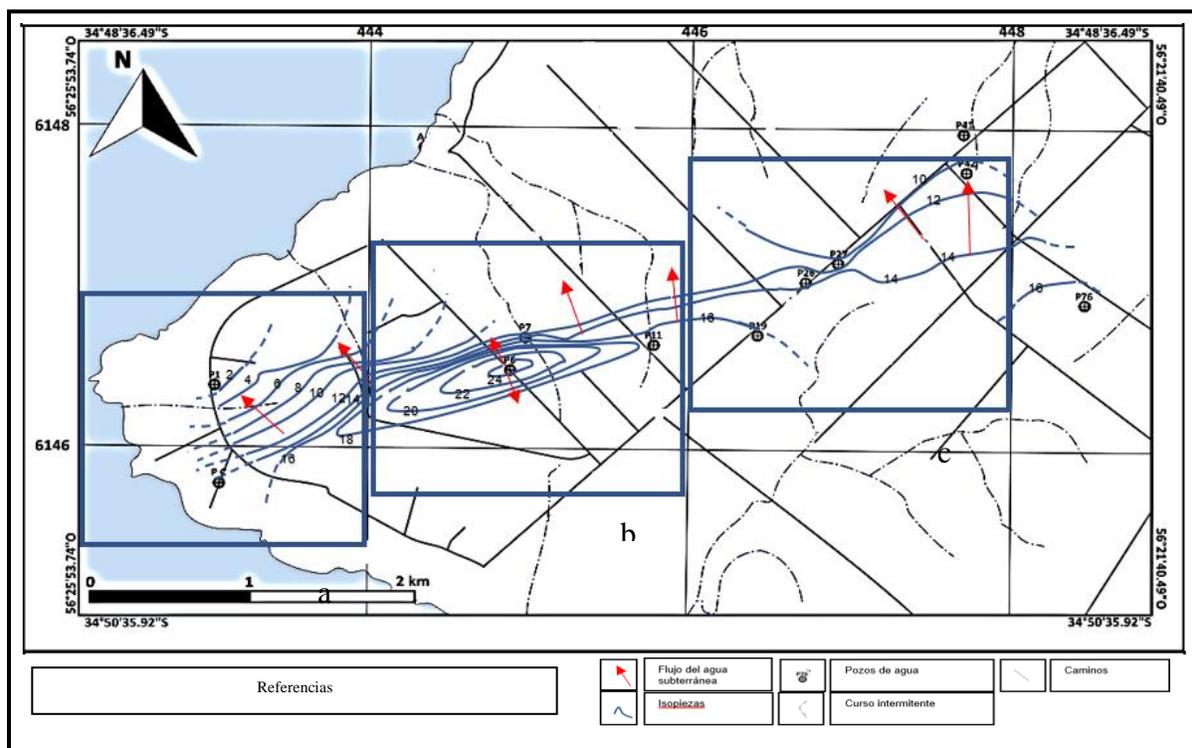


Figura 14: Mapa Piezométrico, Acuífero Fisurado.

Del mapa Piezométrico se deducen tres zonas principales:

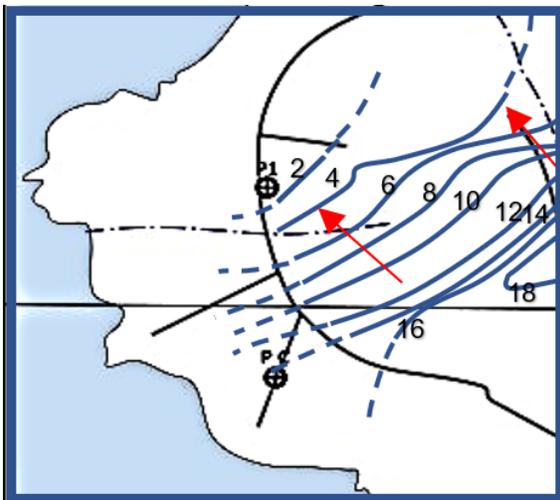


Figura 14: Zona a

- En esta zona la dirección principal del flujo subterráneo se dirige hacia el noroeste de la zona de estudio.
- El comportamiento del agua es similar en toda esta área, el flujo se dirige a zonas de descargas (arroyos y cañadas).
- El flujo de agua alimenta a arroyos o cañadas (río Efluente)

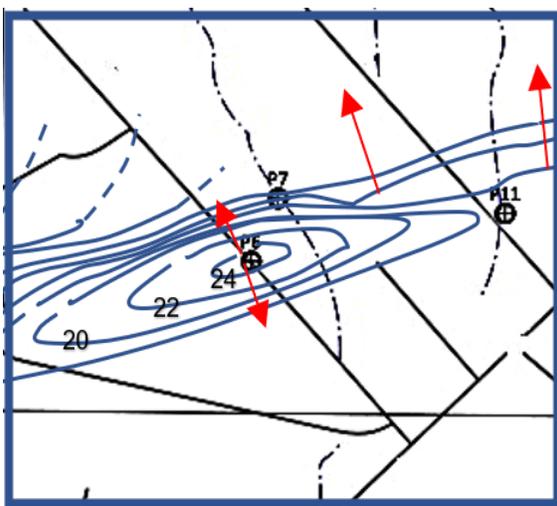


Figura 14: Zona b

- En esta zona se deducen dos direcciones principales del flujo subterráneo: norte y sur.
- Esta zona es un área de recarga y el flujo se dirige a zonas de descargas (arroyos y cañadas).

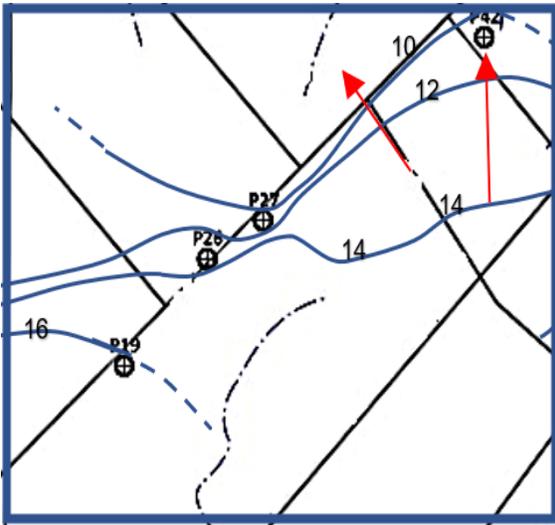


Figura 14: Zona c

- En esta zona la dirección principal del flujo subterráneo es hacia el nor-noroeste de la zona de estudio.
- El flujo se dirige a zonas de descargas (arroyos y cañadas).
- El flujo de agua alimenta a arroyos o cañadas (río Efluente)

Comparación piezométrica 2004-2022

Al realizar una comparación de la orientación y sentido del flujo de los mapas piezométricos correspondientes a los años 2004 y 2022 (figura 15 y 16) se observa que a pesar de los descensos observados, se mantiene la misma orientación y sentido del flujo de agua subterránea.

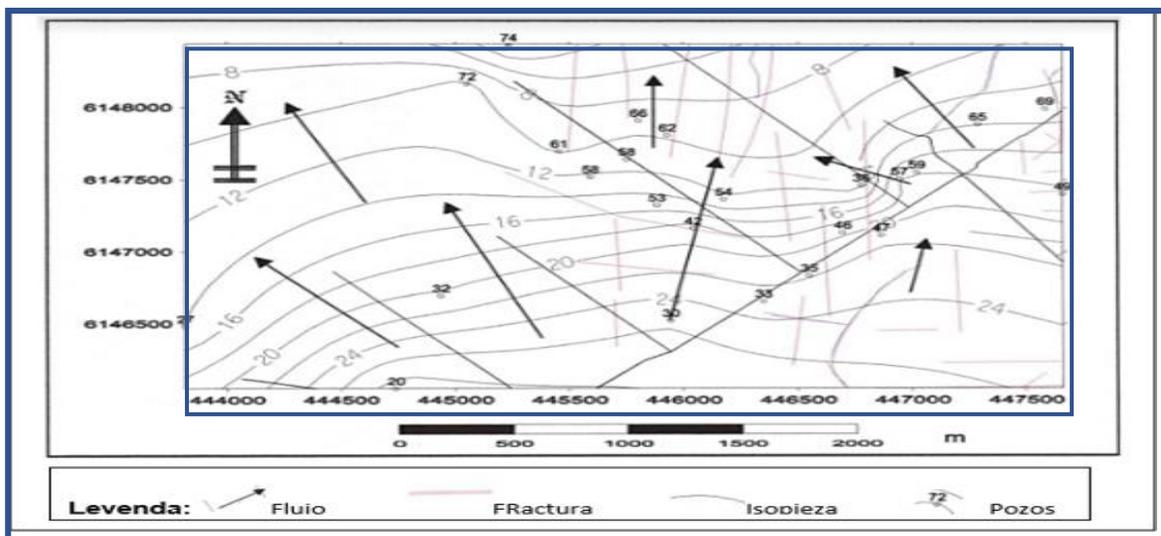


Figura 15: Mapa Piezométrico; Fuente: Gueréquiz (2003).

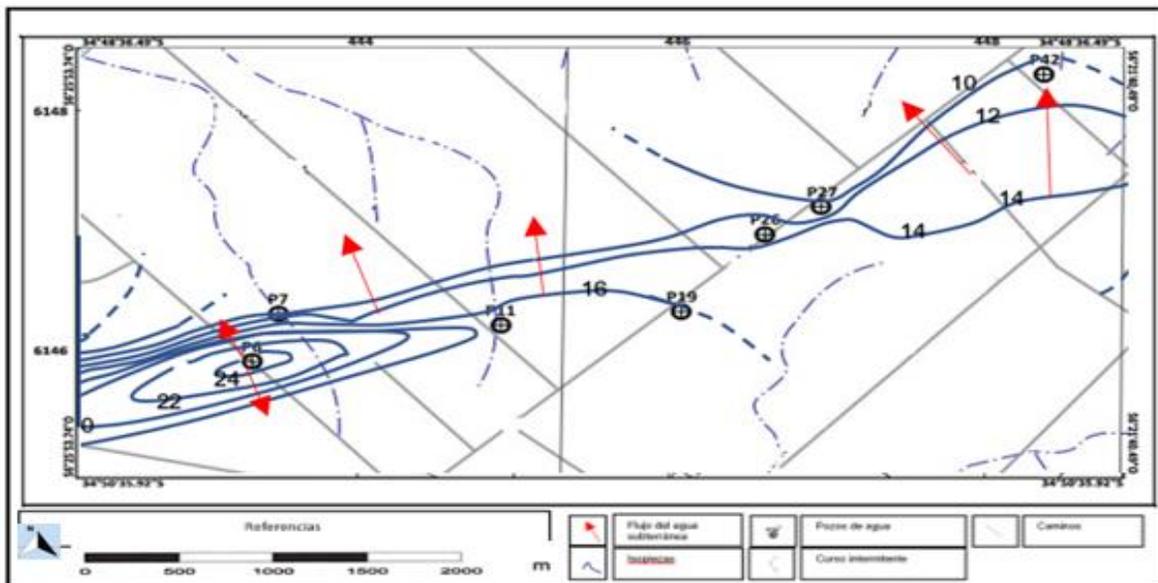


Figura 16: Mapa Piezométrico 2022

6.5 Hidrogeoquímica

6.5.1 Parámetros Físico Químico. Marco Teórico

Temperatura

La temperatura del agua subterránea responde a la media anual de la temperatura atmosférica de la zona, es de suma importancia, ya que es fundamental en la solubilidad de los gases, disolución de sales, la determinación del pH, la conductividad eléctrica, etc. (Custodio *et al*, 1983).

Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH es la cantidad de iones de hidrógeno que se encuentra en el agua, valores que están fuera del rango 6 a 9 pueden afectar considerablemente las condiciones del agua, provocando eventos negativos sobre el sistema (Custodio *et al*, 1983).

Este parámetro puede ser alterado según las sustancias disueltas en el agua, la disolución de sustancias como ClNa produce bajas alteraciones, pero sustancias que aportan H^+ como el ClH o NaOH producen grandes desequilibrios en el agua (Custodio *et al*, 1983).

Cuando el pH es bajo refleja que el sistema presenta un ingreso de sustancias ácidas y anoxia, mientras que si los valores son mayores al rango establecido indica que el agua presenta sobresaturación de oxígeno, ocasionando el incremento de la actividad fotosintética (Custodio *et al*, 1983).

La mayoría de las aguas subterráneas presentan un pH entre 6,5 y 8 (Custodio et al, 1983).

Conductividad Eléctrica

Es la capacidad que tiene el agua para transmitir corriente eléctrica, la cual va aumentando dependiendo de presencia, movilidad, valencia y concentración de iones del agua. En sistemas acuáticos subterráneos los valores se encuentran entre 100 y 2000 a 18 ° para aguas dulces y 10000 con salmueras Este parámetro aumenta con la temperatura (Custodio et al, 1983).

Sólidos Disueltos Totales

El TDS es un parámetro que se usa para medir la concentración total de sólidos disueltos en agua, la misma se mide en ppm (partes por millón) y depende de la cantidad global de minerales disueltos en el agua (Custodio et al, 1983).

Oxígeno Disuelto (OD)

El principal problema que presenta este parámetro en el uso del agua es que produce corrosividad (Custodio et al, 1983).

Este parámetro nos indica la cantidad de oxígeno disuelto en agua, produce un medio oxidante y es de suma importancia para la solubilización o insolubilización de iones. Se consume fácilmente si hay sustancias oxidables. Valores bajos de OD puede provocar un medio anaeróbico e indicar contaminación orgánica en el agua y valores muy altos pueden dar indicios de productividad primaria (floración algal). El agua subterránea presenta generalmente un valor entre 0 y 5 ppm, frecuentemente por debajo de los 2ppm (Custodio et al, 1983).

Turbidez

Este parámetro representa la dificultad del agua para poder transmitir la luz, dependiendo directamente de la cantidad de sólidos en suspensión, a mayor presencia de sólidos en suspensión, menor es el pasaje de luz en el agua (Custodio et al, 1983).

Mide el contenido en materias coloidales y materia en suspensión muy finas difícil de sedimentación y filtrar (Custodio et al, 1983).

Se mide en ppm y se clasifica en: agua transparente con 1,42 ppm SiO₂(permite ver 4metros); opalina con 2,85 ppm SiO₂; algo turbia 6,25 ppm; turbia con 9,00 ppm y muy turbia con más de 9,00 ppm (Custodio et al, 1983).

Potencial de Oxidación y Reducción (ORP)

Este parámetro registra la capacidad que tiene una solución de absorber o expulsar sales diluidas, permitiendo el registro de saneamiento del agua. Este parámetro es llamado también redox. La diferencia de potencial Redox es expresada en mV y provee datos del potencial de oxidación o de reducción (Custodio et al, 1983).

El potencial redox es positivo cuando se produce una oxidación y negativo cuando se produce una reducción. Normalmente, las reacciones redox vienen acompañadas de cambios de pH en el medio (Custodio et al, 1983)

6.5.2 Parámetros químicos. Marco Teórico

Nitrato (NO_3^-) y Amonio (NH_4^+).

Mayormente los compuestos nitrogenados pasan a NO_3^- en un medio oxidante aunque el NH_4^+ puede perderse como N_2 (Custodio et al, 1983)

El ión nitrato (NO_3^-) es una sal muy soluble, tienen tendencia a ser estables incluso en medios reductores pueden pasar a N_2 o NH_4^+ y en escasas ocasiones a NO_2 (Custodio et al, 1983).

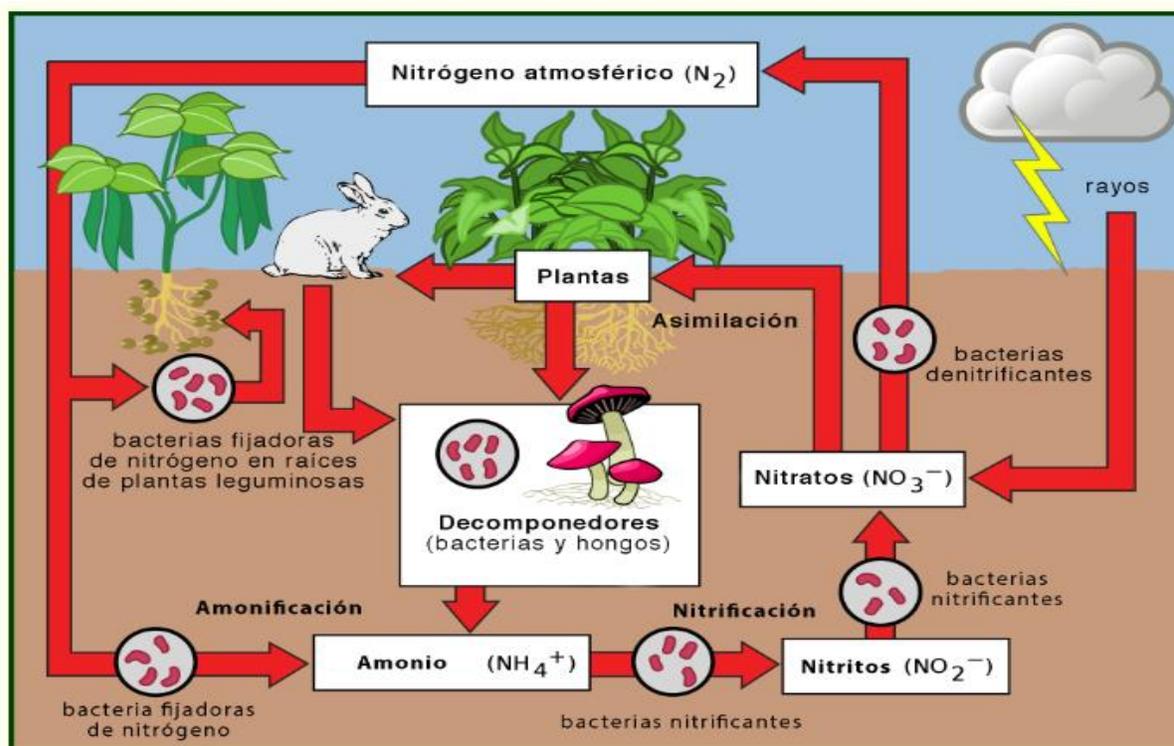


Figura 17: Ciclo del Nitrógeno. Recuperado Gatmecks (2021).

Las altas concentraciones de nitratos generan grandes problemas sanitarios en la población, desarrollando efectos nocivos sobre la salud y el bienestar humano, ocasionando enfermedades gástricas, variación en la composición de los glóbulos rojos y enfermedades en el tracto intestinal, etc (Custodio et al, 1983)

Los reservorios de aguas subterráneas sin agentes contaminantes, presentan niveles de nitrato (en forma de nitrógeno) entre 0.1 a 10 mg/L, pero el incremento de los mismos a valores que superan los 50 mg/L pueden ser indicativos de contaminación antrópica, generalmente este tipo de contaminación propicia niveles que pueden llegar a 1000 mg/L (Gueréquiz, 2004)

Arsénico (As)

Si bien el Arsénico está presente de diferentes formas en el medio, el que genera mayor preocupación, es el encontrado en aguas subterráneas, ya que genera las mayores intoxicaciones. Esta contaminación se manifiesta a partir de dos procesos independientes: por un lado, está la incorporación de ese elemento a través de prácticas antrópicas y por otro a partir de los diferentes procesos naturales que se desarrollan entre la roca y el agua subterránea (Bocanegra et al., 2002).

El Arsénico está presente en aguas naturales como especie inorgánica disuelta en dos estados de oxidación: arsénico trivalente AS(III) y pentavalente AS (V). Las formas químicas del As en agua están reguladas por el pH y las condiciones redox. En aguas subterráneas se puede constatar que el As se presenta en sus dos estados de oxidación, fenómeno que no se registra en las aguas superficiales, donde predominan los As pentavalentes(V) (Lillo, 2020).

6.6. Hidrogeológicos

6.6.1 Parámetros Físico-químicos

En campo se midieron los parámetros físico-químicos con sonda Hanna Modelo 9829 que incluye (Potencial de hidrógeno (PH) ppm Óxido Disuelto (DO). Conductividad eléctrica Total de Sólidos Disueltos (TSD) Turbidez y Temperatura), cuyos resultados se describen y analizan a continuación. (Tabla 5)

Identificación de Pozos	Parámetros Físico- Químicos						
	Temperatura (° C)	pH	Cond.Eléct. (μS/cm)	PpmDO	TSD (ppm)	Turb (NTU)	ORP (mV)
P1	-	7,25	1851	1,73	926	-	-
P6	-	7,30	1325	2,40	660	0,50	-
P7	-	-	1404	2,80	702	0,80	-
P8	20,00	7,34	1692	4,60	846	0,20	169,50
P8 BIS	20,00	7,29	2036	5,20	1016	0,30	168,00
P8 -B	20,00	7,17	1476	3,95	736	0,70	167,50
PC	19,00	7,76	1457	7,13	726	0,40	167,20
P11	19,00	7,30	1482	2,11	740	0,50	179,40
P16	16,70	7,40	1496	5,00	747	0,40	172,20
P19	20,00	7,34	1291	1,95	646	0,40	150,00
P26	-	7,23	1548	2,75	774	0,80	196,60
P27	18,49	7,80	1441	5,54	722	0,80	277,20
P34	20,00	7,70	1799	6,11	900	0,10	146,40
P41	17,00	7,32	1548	1,70	776	0,50	188,50
P42	-	7,28	1185	3,06	593	0,40	190,90
P48	19,00	7,20	1472	2,72	736	0,30	192,10
P48Bis	19,00	7,74	1257	6,9	625	1,20	169,30
P57	-	-	-	-	-	-	-
P59	19,74	7,56	1651	6,20	826	0,13	138,50
P59 A	20,00	7,20	2054	3,35	1028	3,00	132,30
P72	19,00	7,37	1549	4,20	774	0,10	197,30
P75	-	7,26	1346	2,80	672	0,90	182,20
P75BIs	16,40	7,50	1308	4,50	654	0,20	174,70
P76	17,00	7,23	1184	2,15	592	2,40	194,20
PF24	19,00	7,36	1757	3,86	879	0,30	190,30

Tabla 5. Parámetros físico-químicos medidos en agua subterránea.

Temperatura

Del análisis estadístico de los datos de temperatura resulta un valor medio de 19,02 °C, valor que está dentro de los parámetros establecidos. Un valor mínimo de 17°C en el pozo P41 y un valor máximo de 20°C en los pozos (P8, P8 Bis, P8-B, P19, P34, P59-A) todo al noreste del área de estudio, (Fig. 18)

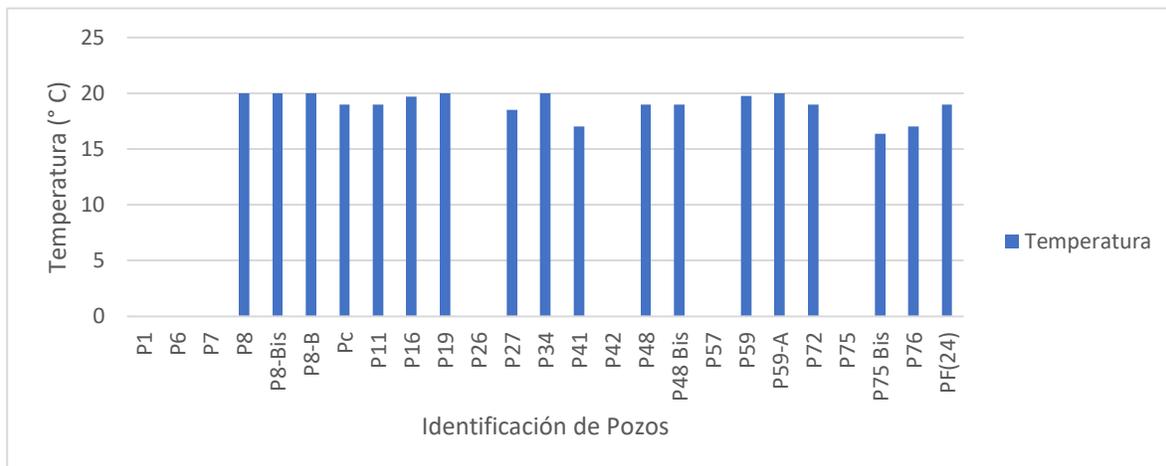


Figura 18: Gráfico de Temperatura.

Potencial de Hidrógeno (pH)

Del análisis de datos de pH, surge que el valor medio es de 7,07 valor dentro del rango de frecuencia y de potabilidad del agua subterránea (6,5-8,0). Un valor máximo de 7,8 en el pozo P27alN-E y un valor mínimo de 7,17 en el pozo P8-B al N-O del área de estudio.

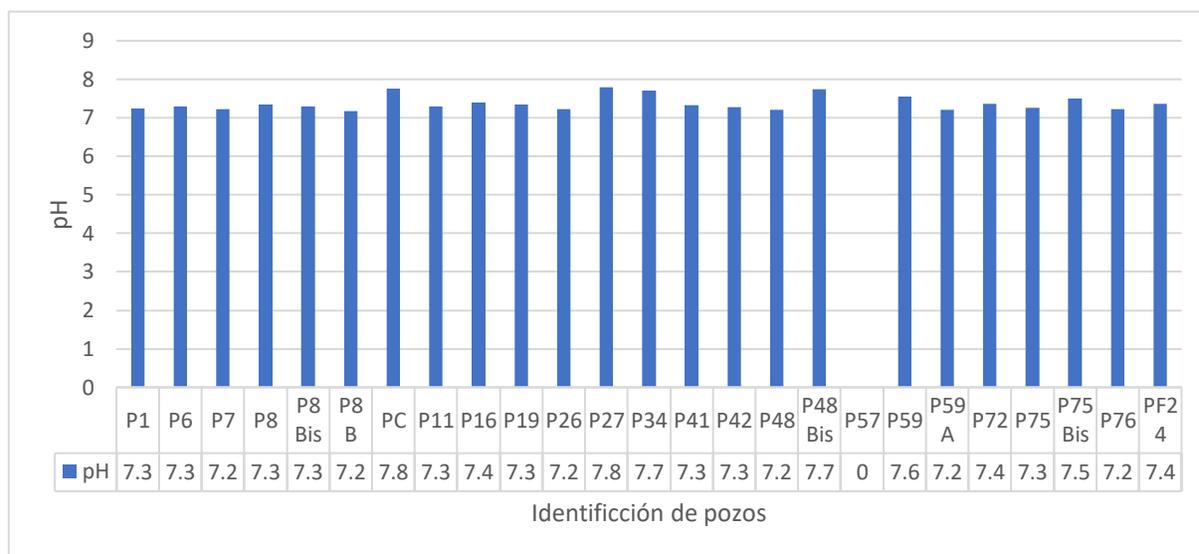


Figura 19: Gráfico de Potencial de Hidrógeno.

Conductividad Eléctrica

Los registros de conductividad eléctrica de la mayoría de las muestras se encuentran en el rango medio para las aguas subterráneas, oscilan alrededor de 1000 a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, salvo

algunas excepciones como las muestras de los pozos P8 Bis y P59-A con valores que superan los 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Del análisis estadístico de los datos de la conductividad eléctrica surge que el valor medio es de 1525 $\mu\text{S}/\text{cm}$, siendo el valor máximo reportado en el pozo P59-A al noroeste, con un valor de 2054 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y un valor mínimo en el pozo P76, al noreste con 1184 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figura 20).

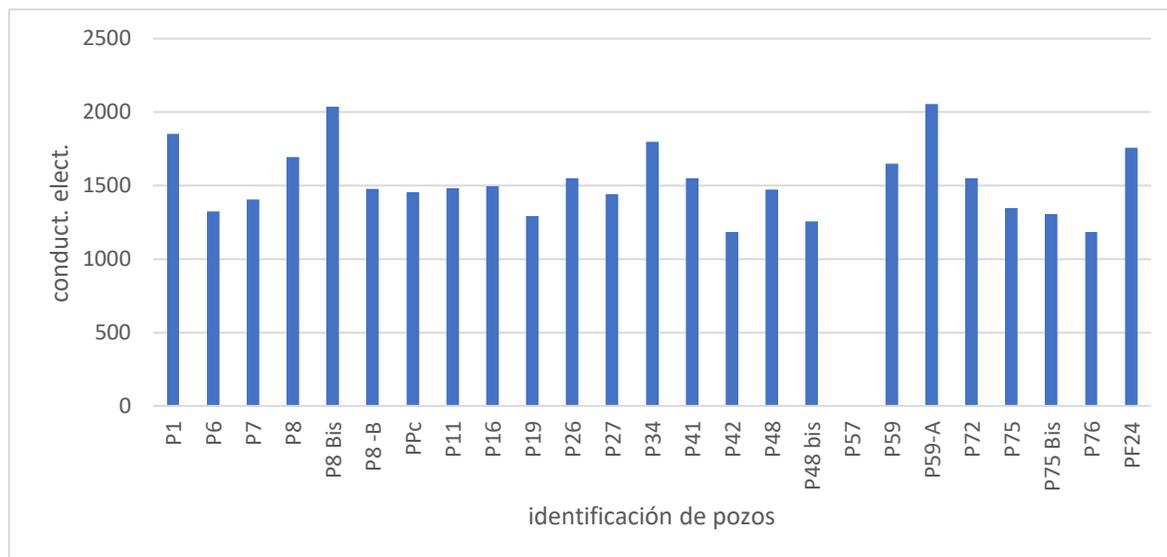


Figura 20: Gráfico de Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

A partir de la observación y comparación de la evolución de la conductividad eléctrica de cuatro muestras de agua de los años 2004 y 2022 (figura 21) se puede decir que después de 18 años se registra un incremento en los valores de la conductividad principalmente en el pozo P26 donde el incremento es de 1076 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Los pozos estudiados en el 2004 presentan un intervalo de conductividad que va desde los 635 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hasta 1265 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que los pozos estudiados en el 2022 lo hacen entre los 1184 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 2054 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Este aumento en la salinidad estaría indicando un proceso de salinización del acuífero, que podría estar dado, por el régimen intensivo de explotación, provocando ingreso de agua salina por la costa del Río de la Plata, y/o debido a la salinización del suelo por riego intensivo.

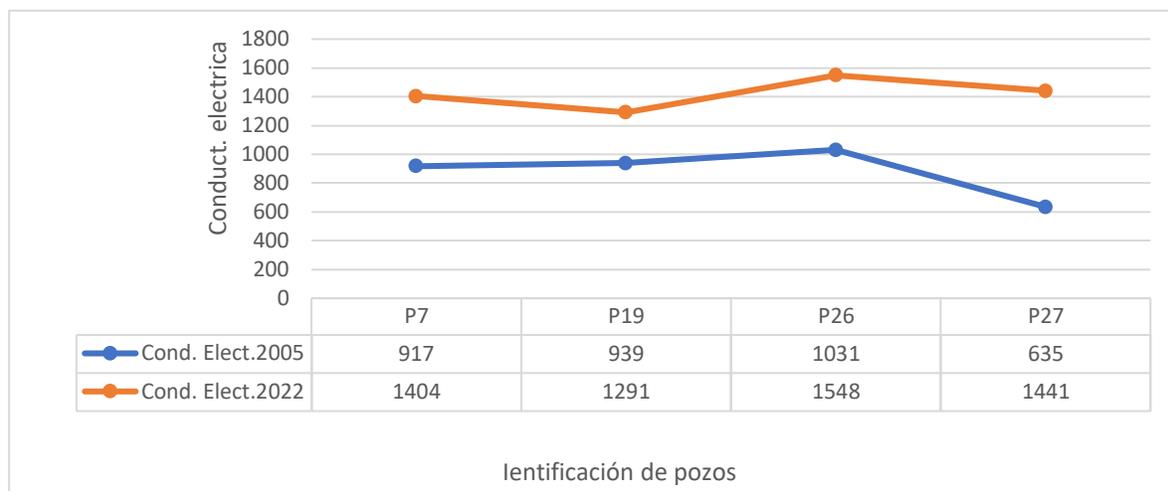


Figura 21: Gráfico de comparación de conductividad eléctrica 2005 y 2022.

Oxígeno Disuelto (OD)

Del análisis de los valores obtenidos del oxígeno disuelto surge que el valor medio es de 3,85mg/L, con un valor máximo de 7,13mg/L en el pozo Camping (al suroeste del área) y un valor mínimo de 1,7 mg/L, en el pozo P41(al noroeste del área).

El 42% del agua subterránea analizada presenta buenos contenidos de oxígeno, mientras que el 58 % restante presenta valores por debajo de los 4,0 mg/L

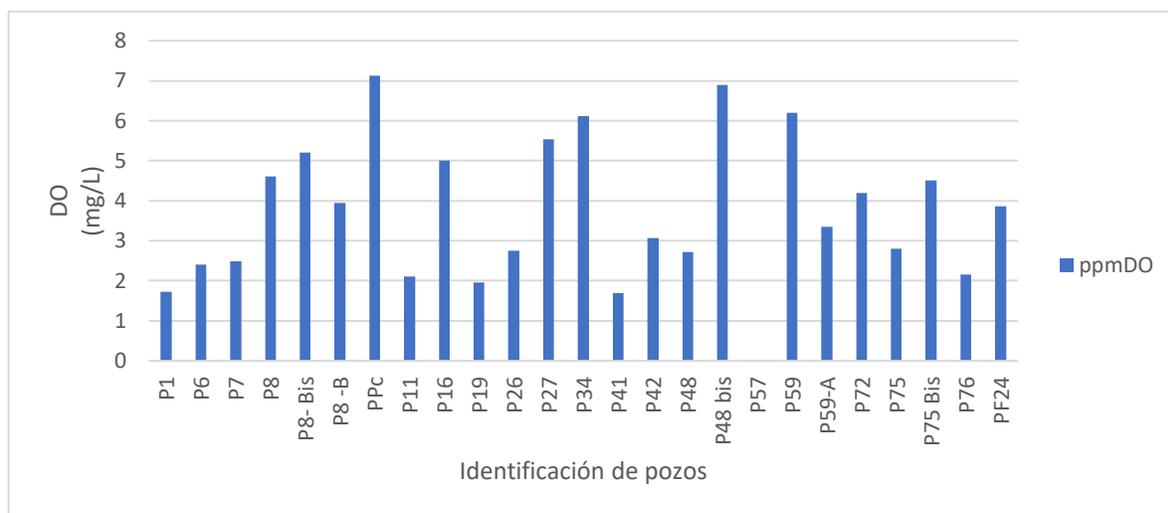


Figura 22: Gráfico de Óxido Disuelto en muestras de agua subterránea

Sólidos Disueltos Totales

Del análisis estadístico de datos de sólidos disueltos totales, surge que el agua subterránea analizada presenta valores aceptables en gran parte de las muestras, con valores que van

desde los 592 ppm en el pozo P76 a 926 ppm en el pozo P1, solo dos pozos presentan valores que superan lo establecido por la OMS, el pozo P8Bis y P59-A con 1016 ppm y 1028 ppm respectivamente.

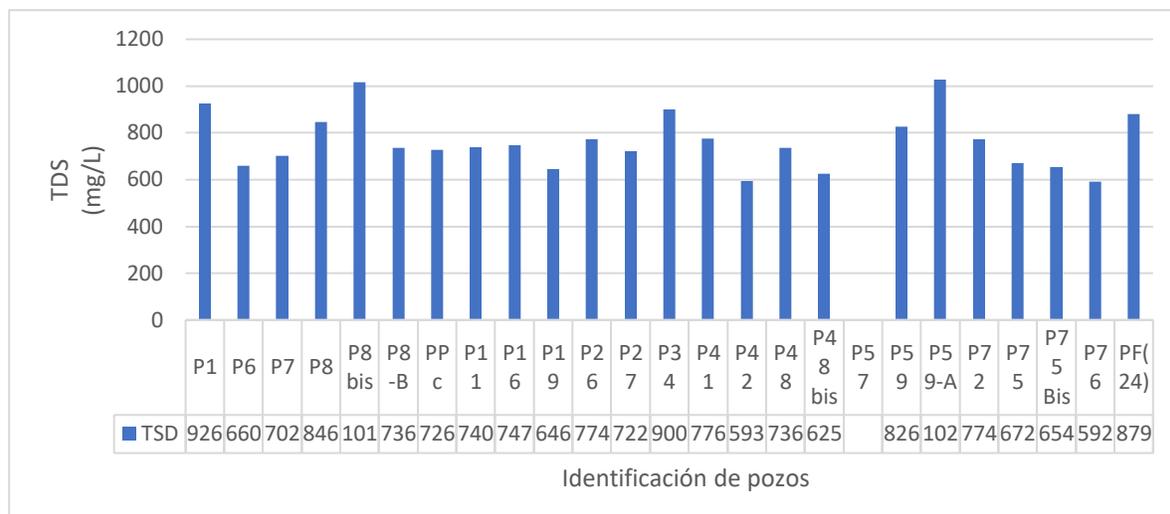


Figura 23: Gráfico Sólidos Disueltos totales

En la figura 24, se observa que estas dos variables están relacionadas de manera que al aumentar el valor de la conductividad eléctrica, se incrementa el valor de los sólidos disueltos totales, es decir a mayores valores de conductividad eléctrica mayores valores de sólidos disueltos totales. Existe una tendencia al aumento (correlación positiva).

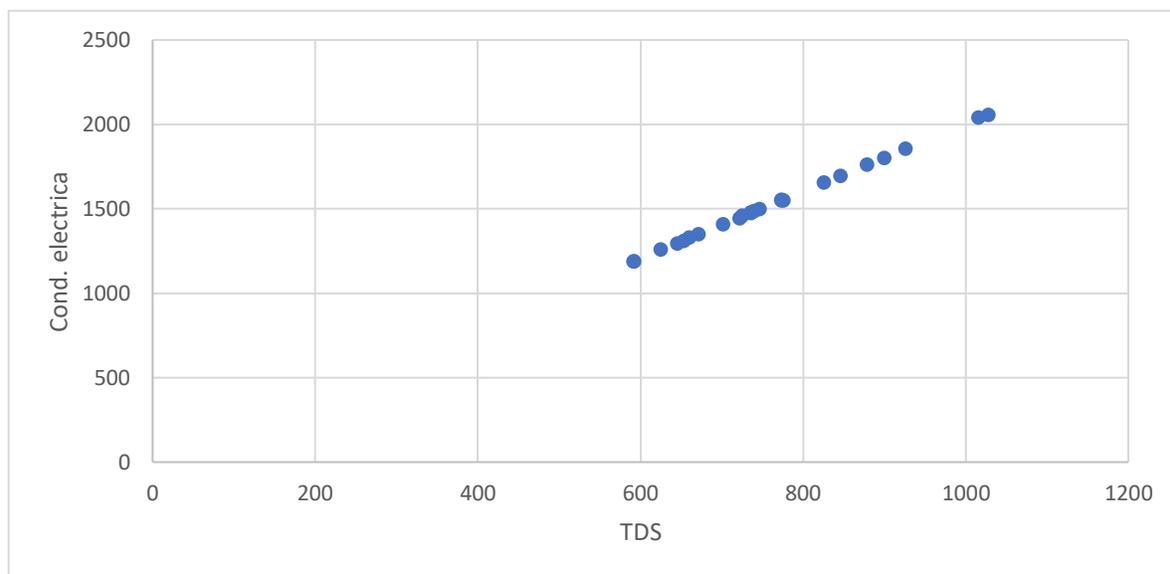


Figura 24: Gráfico de dispersión TDS Vs conductividad eléctrica.

Turbidez

Del análisis de los valores obtenidos de turbidez surge que el valor medio es de 0,67 NTU, valor que está dentro de parámetro recomendado por la OMS, con un valor máximo de 3,0 NTU en el pozo P59-A y un valor mínimo de 0,1 NTU en los pozos P34 y P72.

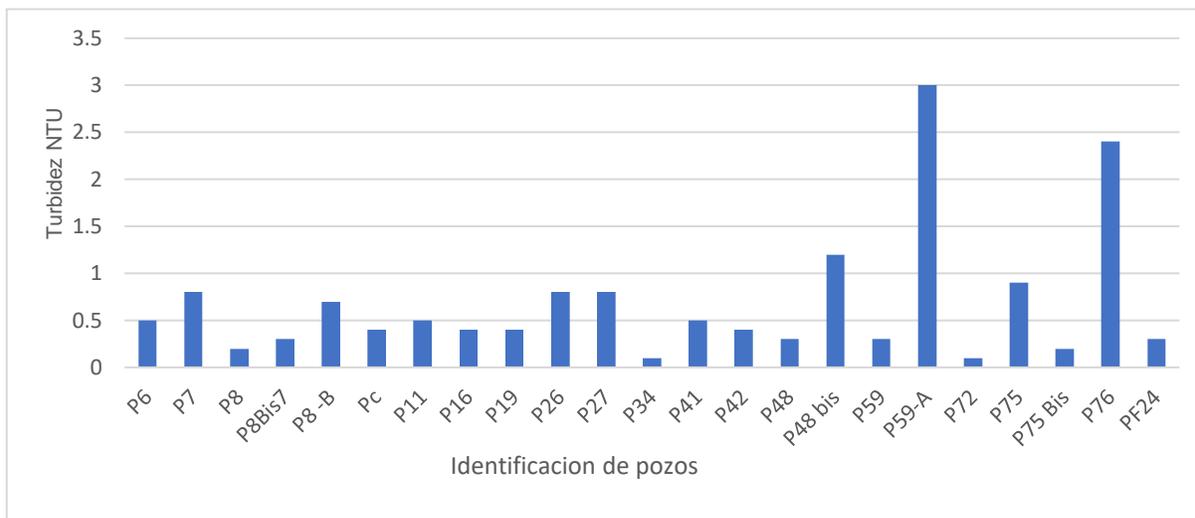


Figura 25: Gráfico de Turbidez

Potencial de Oxidación y Reducción (ORP)

Del análisis estadístico de datos de Potencial de Oxidación y Reducción surge que el valor medio es de 178,06 mV, valor que está por debajo del valor recomendado por la OMS, con un máximo de 277,2 mV en el pozo P27 y un valor mínimo de 132,3 mV en el pozo P59-A.

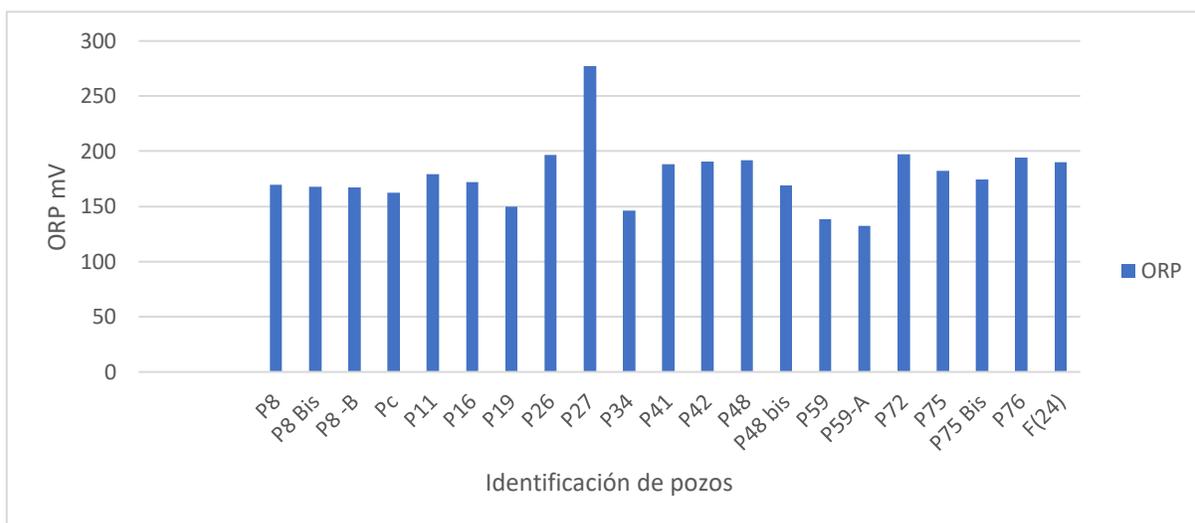


Figura 26: Gráfico de Oxidación Reducción Potencial

6.6.2 Parámetros químicos

En 24 muestras de agua subterránea se analizaron las diferentes concentraciones de nitrato y amonio en el laboratorio de Limnología de Facultad de Ciencias y arsénico en el Centro especializado en Química Toxicológica (CEQUITOX) de facultad de Química., generando los siguientes datos que se describen y analizan a continuación.

Identificación de Pozos	Parámetros Químicos en laboratorio		
	Arsénico mg/L	Nitrato mg/L	Amonio mg/L
P1	20,50	31,50	20,27
P6	19,60	19,77	13,91
P7	16,80	39,88	18,07
P8	14,70	61,93	20,02
P8 BIS	11,00	38,09	14,23
P8 -B	16,10	34,97	7,71
PC	19,70	54,36	14,23
P11	13,70	37,54	20,35
P16	17,40	41,83	19,37
P19	26,70	48,01	18,96
P26	20,10	42,94	47,43
P27	25,30	41,21	42,04
P34	19,50	43,50	30,54
P41	19,80	28,12	23,86
P42	16,60	62,60	34,62
P48	14,60	56,64	23,37
P48Bis	20,20	45,72	18,48
P57	-	-	-
P59	25,80	70,68	11,62
P59 A	17,80	20,10	40,98
P72	18,30	36,76	26,63
P75	13,50	82,68	18,31
P75BIs	14,60	43,27	27,61
P76	13,80	29,57	33,40
PF24	18,00	37,43	40,98

Tabla 6. Parámetros químicos Laboratorio.

Análisis químico (Nitrato y Amonio)

Nitrato

Del análisis surge que el 25 % de las muestras analizadas están por encima del valor máximo permitido (VMP) según la norma UNIT 833(2008).

Del análisis estadístico surge un valor medio de 43,71 mg/L, un valor máximo de 82,68 mg/l en el pozo P75 al sureste y un valor mínimo de 19,77 mg/L en el pozo P6 al noroeste (Tabla 6)

Analizando los valores de nitrato, de acuerdo a rangos de concentración, se observa que los rangos con mayor número de pozos afectados son los rangos de 30 a 40 mg/L y 40 a 50 mg/L, indicando contaminación puntual media a elevada en el agua subterránea del acuífero fracturado (Figura 27).

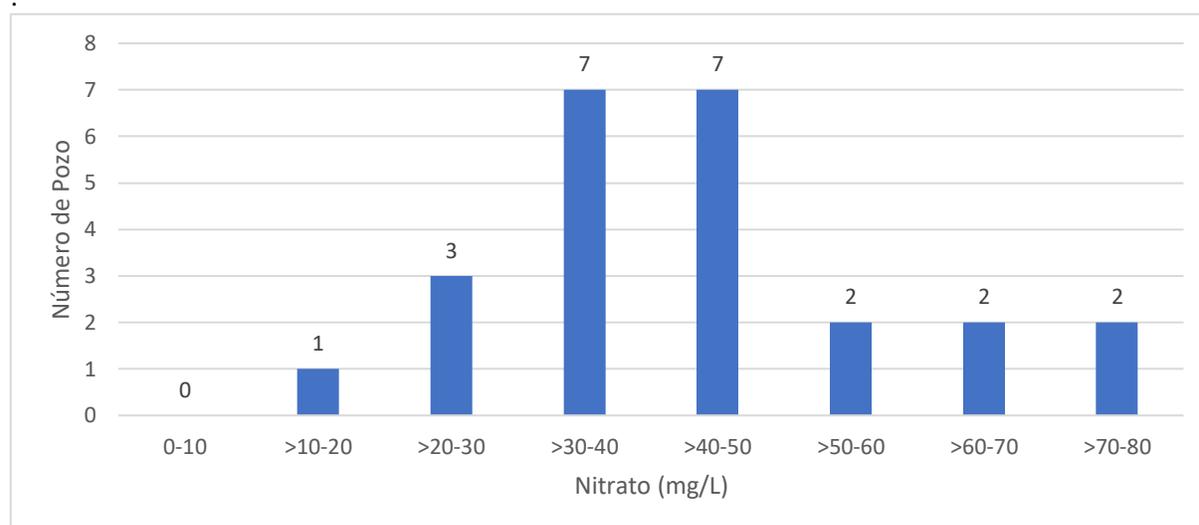


Figura 27: Nitrato en muestras de agua subterránea

Los datos obtenidos indican, que de los 24 pozos monitoreados, existen 6 con concentraciones de nitrato que superan el límite permitido por la norma de potabilidad vigente de Uruguay y estos se localizan en diferentes zonas del área de estudio. Los pozos afectados son: P75, P59, P48, P42, P8 y PC, con valores que se desplazan desde 50,36 mg/L a 82,68 mg/L.

En la figura 28, se presenta el Mapa de isovalores de nitrato, observándose que las mayores concentraciones coinciden con zonas destinadas principalmente a la producción intensiva.

Las zonas de sobreexplotación (hortícola y frutícola) presentan una distribución espacial orientada de noroeste - sureste, mientras que el área destinada a la recreación (camping) se orienta hacia el Suroeste.

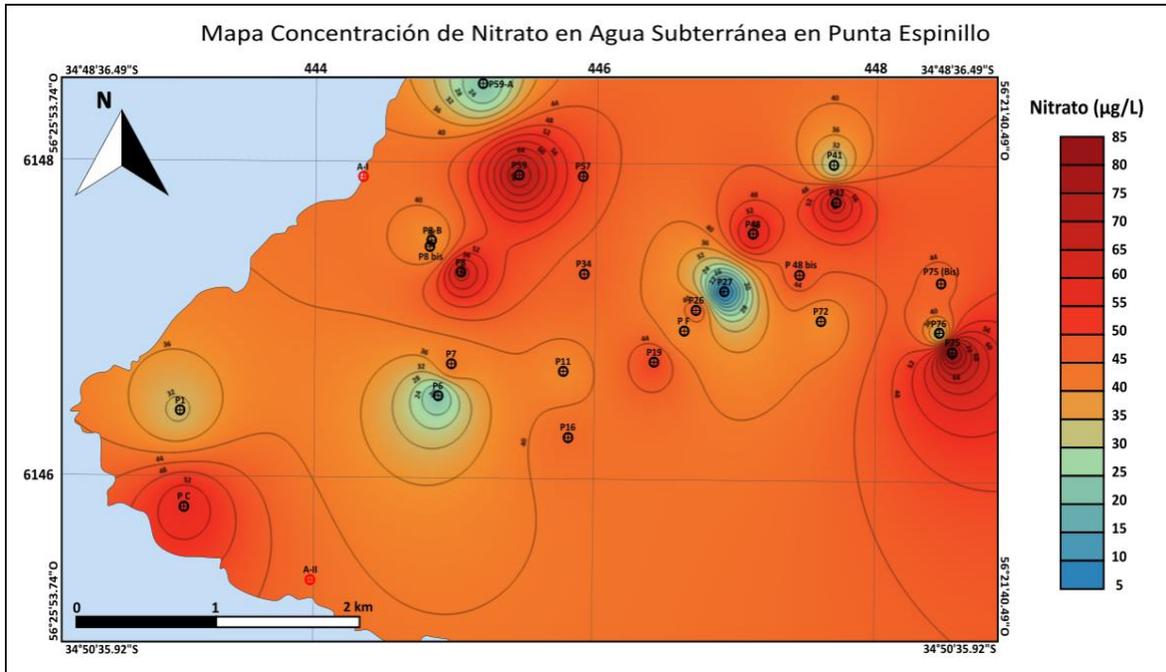


Figura 28: Mapa de concentración de nitrato.

A continuación, se presenta el gráfico de comparación de Nitrato correspondiente a las aguas subterráneas del Acuífero Fracturado (figura 29).

Evolución Temporal del Nitrato (2004-2022)

Se analizaron y compararon seis muestras de Nitrato correspondientes a los períodos 2004 y 2022, en donde se observa que todos los valores analizados se encuentran por debajo de los valores del 2004. dicho descenso va desde los 0,72 mg/L a 86,22 mg/L, registrándose el mayor descenso en el pozo P59-A. Estos descensos en las concentraciones del nitrato, podría estar asociado a las distintas técnicas de análisis químico del nitrato o a los descensos de los niveles piezométricos. Se ha identificado descensos de hasta 86,22 metros, en este sentido la zona no saturada tendría un espesor mayor y por lo tanto mayor profundidad para alcanzar la zona saturada.

La técnica de análisis químico utilizada para el nitrato es el Método de Salicilato de sodio (Muller & Weidemann, 1955).

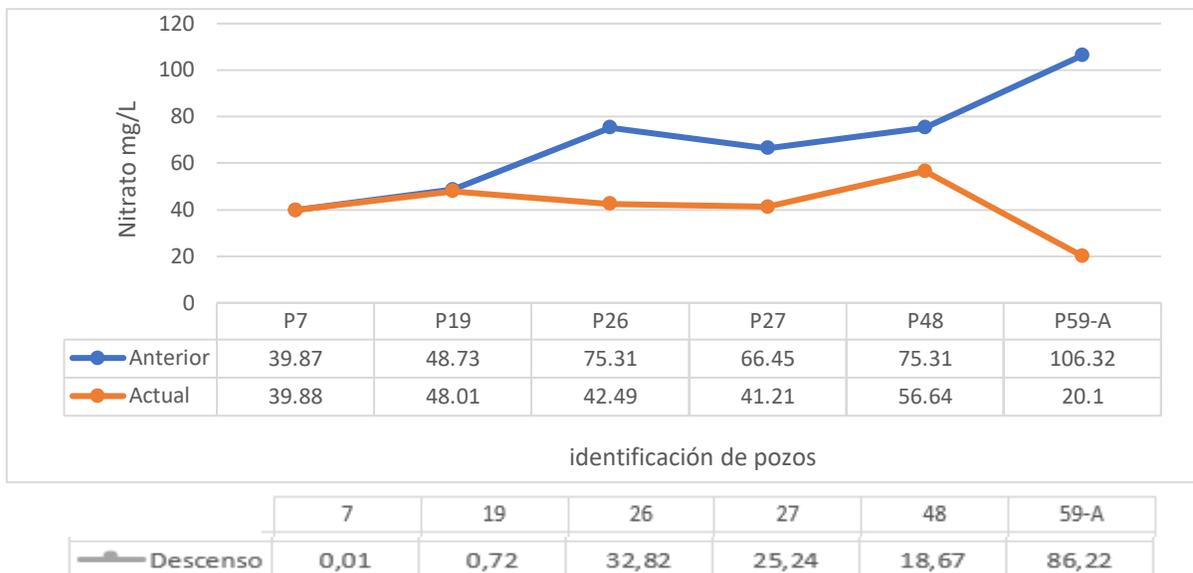


Figura 29: Gráfico de comparación de nitrato

En la figura 30, se observa que el arsénico y el nitrato están relacionadas de manera que al aumentar el valor de uno, se incrementa el valor del otro, es decir a mayores valores de arsénico mayores valores de nitrato. Existe una leve tendencia al aumento (correlación positiva).

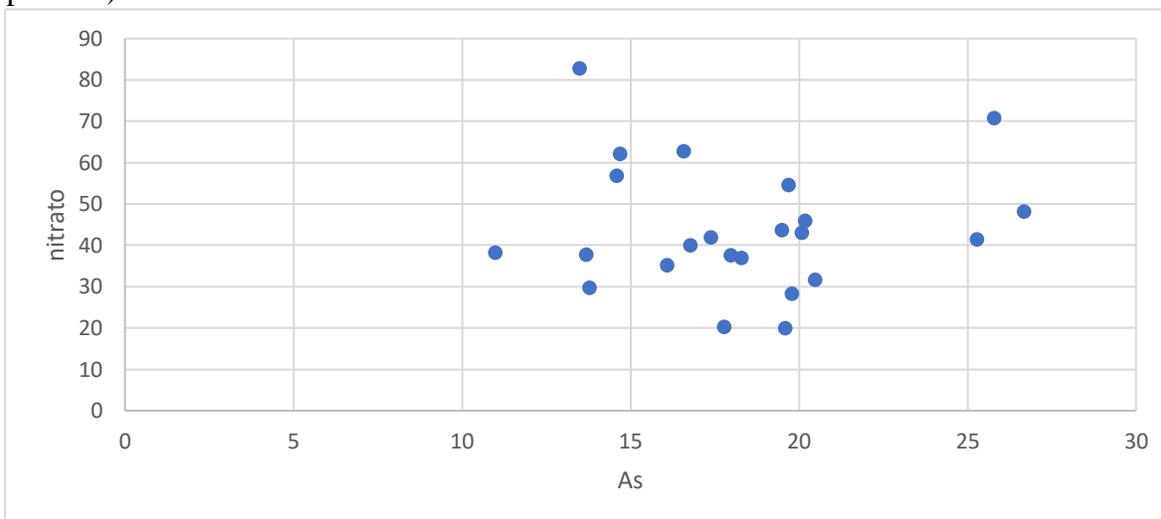


Figura 30: Gráfico de dispersión nitrato vs arsénico.

En la figura 31, se observa que estas dos variables están relacionadas de manera que al aumentar el valor del oxígeno disuelto, se incrementa el valor del nitrato, es decir a mayores valores de oxígeno disuelto mayores valores de nitrato. Existe una leve tendencia al aumento (correlación positiva).

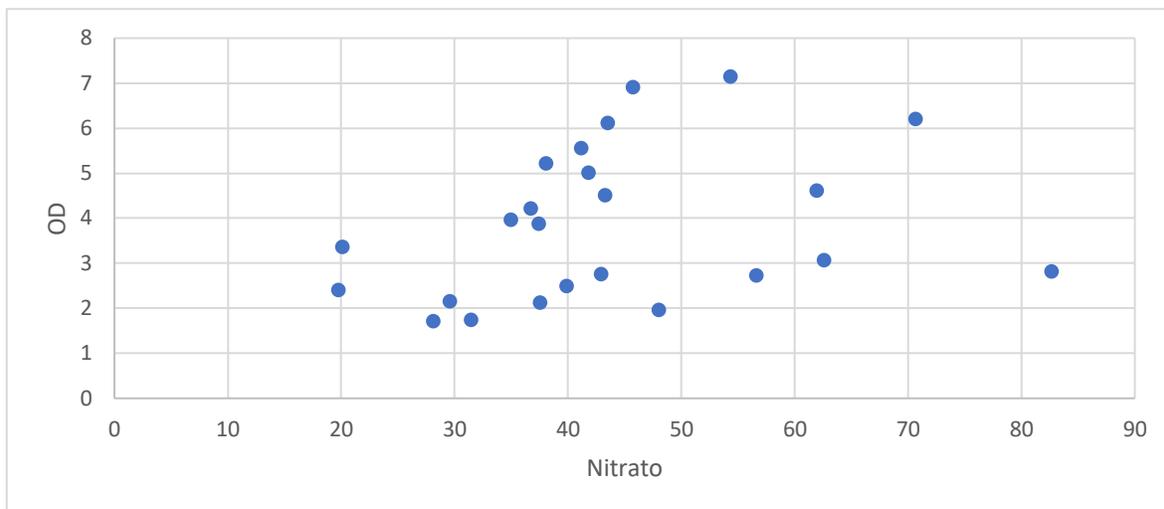


Figura 31: Gráfico de dispersión nitrato vs Oxígeno disuelto

En la figura 32, se observa que la conductividad eléctrica y el nitrato derivan en sentido contrario, es decir al aumentar el valor de la conductividad eléctrica, se reduce el valor del nitrato. Existe una leve tendencia al descenso (correlación negativa).

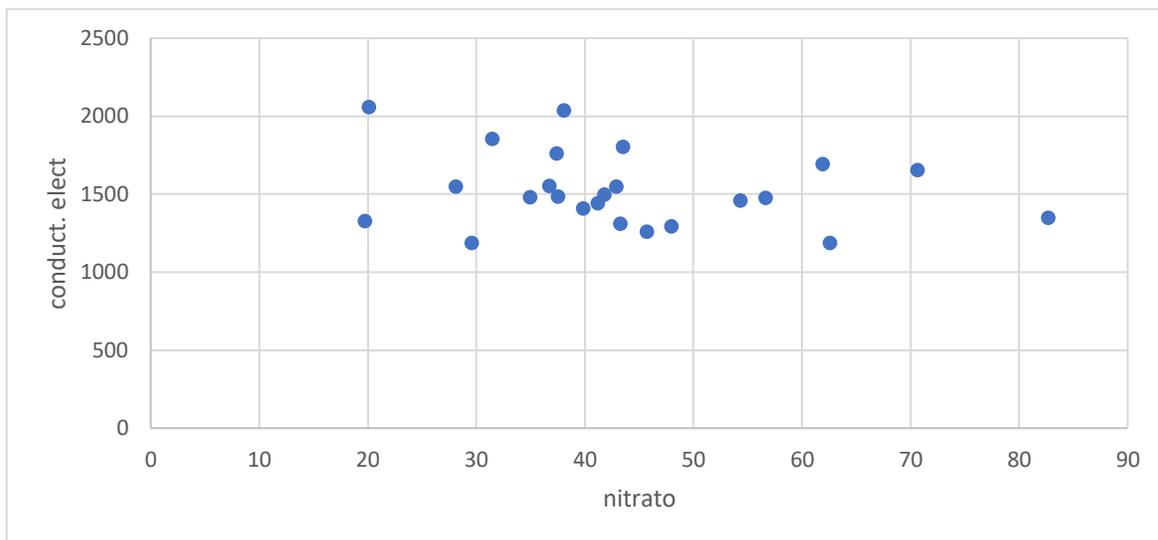


Figura 32: Gráfico de dispersión nitrato vs conductividad eléctrica.

Amonio

En cuanto a la determinación de amonio en agua subterránea, se observa que en las 24 muestras, todas están por debajo del valor máximo permitido, según la norma de potabilidad vigente de Uruguay. De acuerdo al análisis estadístico el valor medio es de 0,024 mg/L, con

un valor máximo de 0,047 mg/L en el pozo P26 y un valor mínimo de 0,007 mg/L en el pozo P8- B (tabla 6).

Según el gráfico de valor de amonio (figura 33), se observa que el rango más frecuente es de 0,01 a 0,02 mg/L.

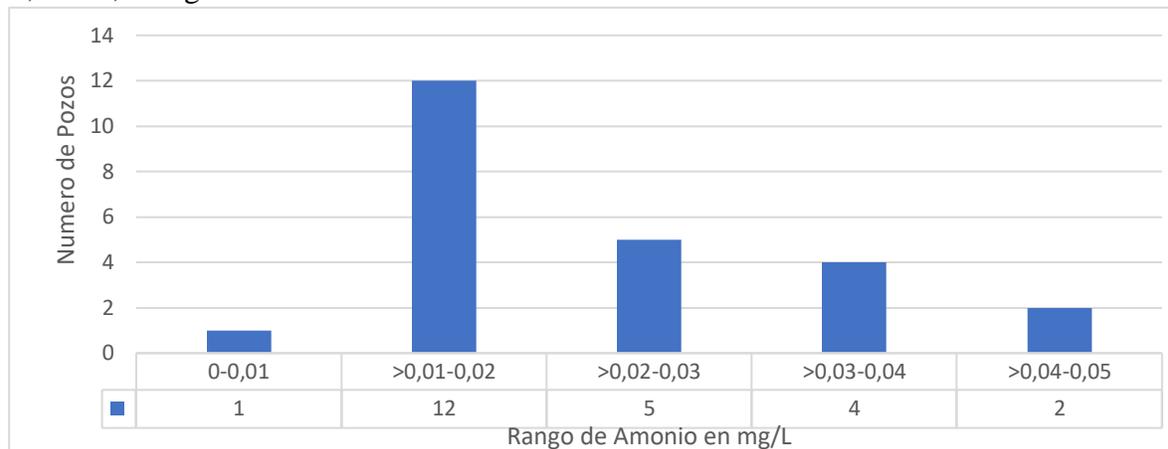


Figura 33: Gráfico de valor de amonio.

Si bien el 100 % de las muestras de agua subterránea analizadas presentan valores por debajo de lo establecido, en el mapa de concentración de amonio (figura 34) se observa que las mayores concentraciones están localizadas al norte y al noreste de la zona de estudio, regiones con mayor actividad agrícola.

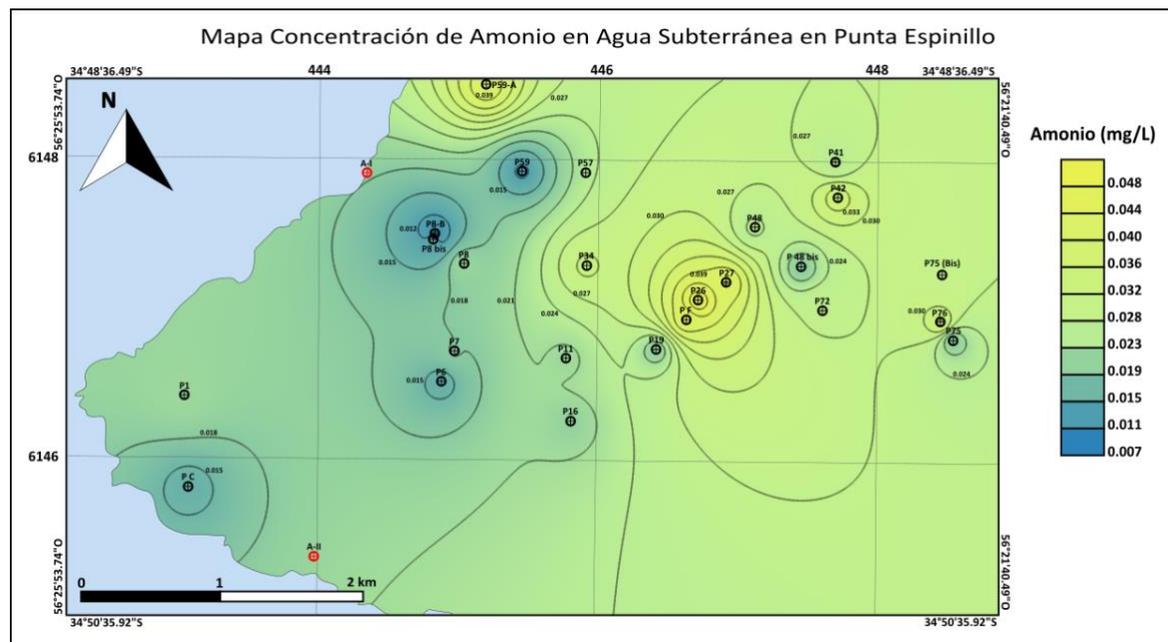


Figura 34: Mapa de concentración de amonio.

A continuación, se presenta el gráfico de comparación de amonio (figura 35). Se analizaron y compararon seis muestras de agua correspondientes a los períodos 2004 y 2022. El resultado muestra que los valores de concentración de amonio descendieron considerablemente de un período a otro, siendo el pozo P19 el que presenta mayor descenso con 0,05429 mg/L.

Esto al igual que para el nitrato podría deberse a distintas técnicas a la hora de analizar el amonio. La técnica de análisis químico utilizada para el amonio es el método de azul de Indofenol- (Koroleff, 1970).

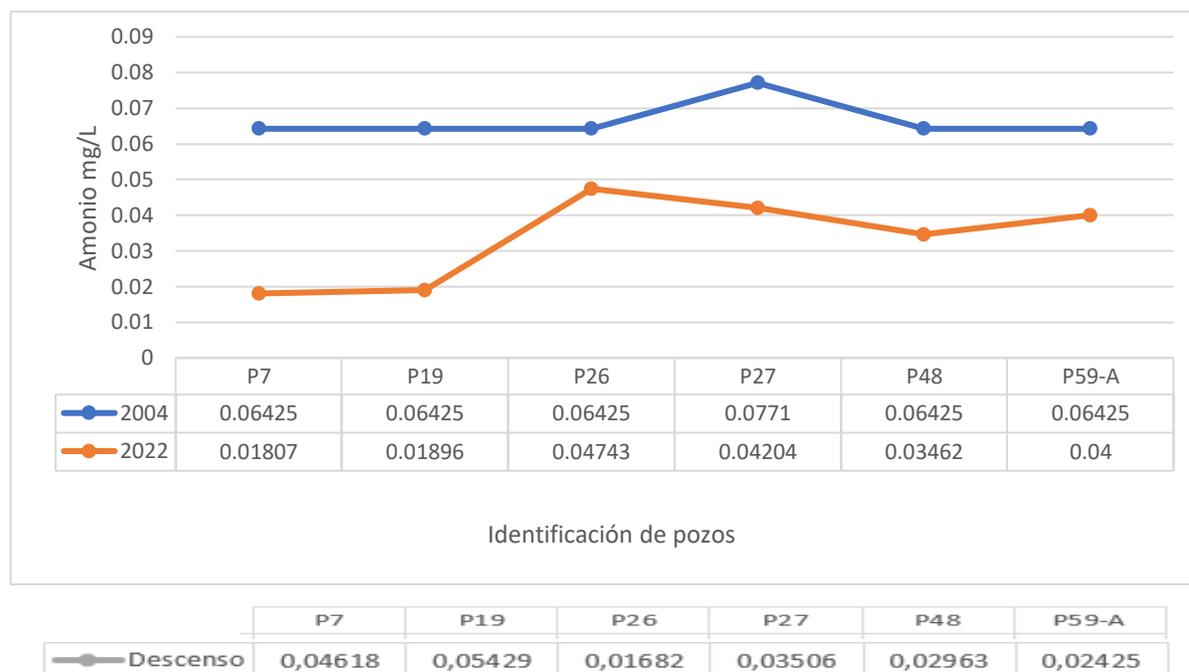


Figura 35: Gráfico de comparación de amonio 2004-2022.

Análisis del Arsénico

De los resultados analizados en laboratorio se obtiene que 25 % de las muestras presentan concentraciones de arsénico por encima del valor máximo permitido VMP según la norma UNIT 833(2008) (Figura 36).

Del análisis estadístico surge que el valor medio es de 0,0180 mg/L, el valor máximo de 0,0267 mg/L en el pozo P19 y el mínimo de 0,0110 mg /L en el pozo P8- Bis (tabla 6).

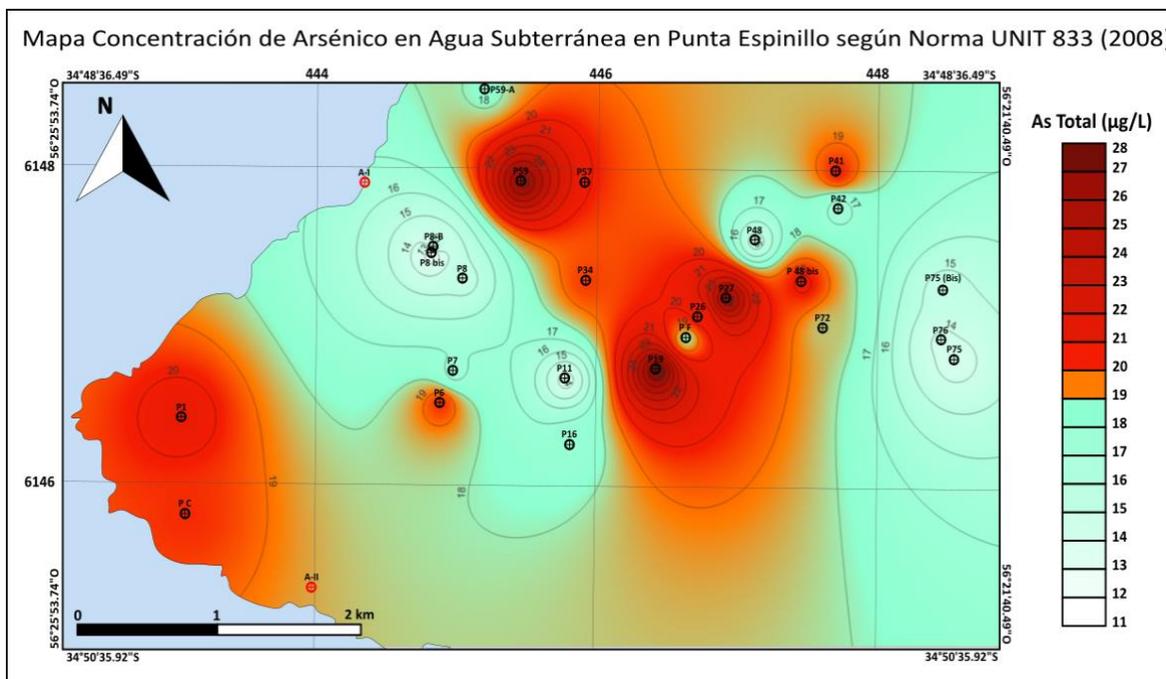


Figura 36: Mapa de concentración de arsénico Norma UNIT 833 (2008).

Analizando los valores y considerando la sugerencia de la Organización Mundial de la Salud en cuanto al valor máximo permitido para agua potable de 10 µg/l, se obtiene que el 100 % de las muestras registran valores por encima del valor máximo permitido (Figura 37).

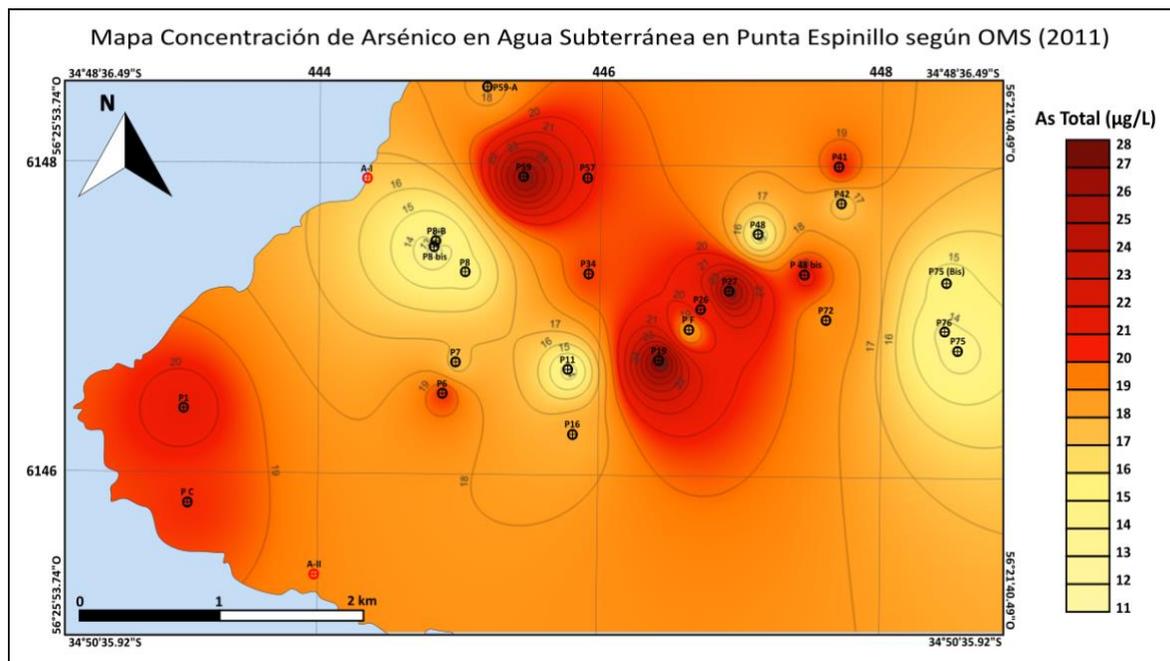


Figura 37: Mapa de concentración de arsénico OMS

Según el gráfico de valor del arsénico (figura 38), se observa que el rango más frecuente es de 0,01 a 0,02 mg/L.

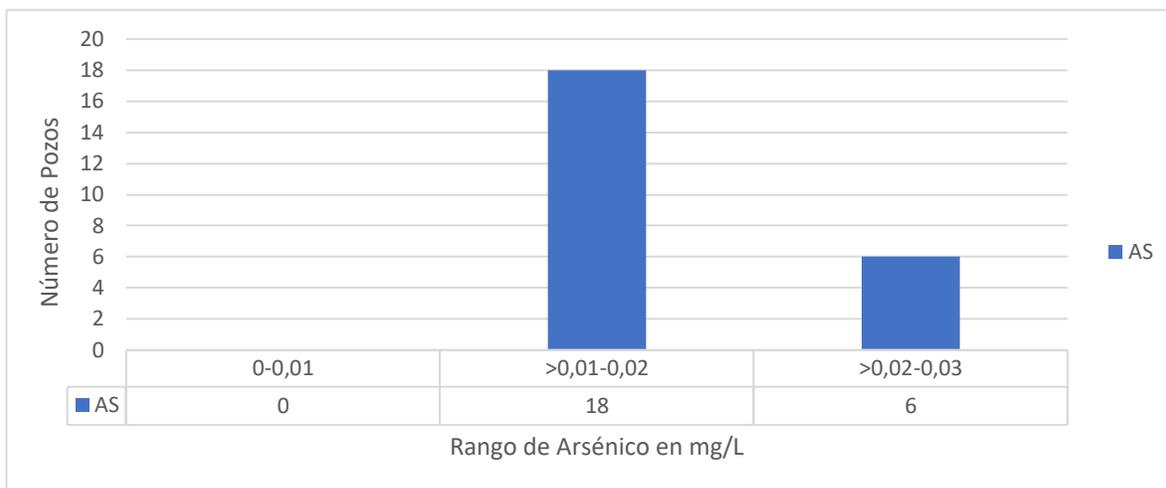


Figura 38. Gráfico de valor de arsénico.

En la figura 39, se observa que estas dos variables están relacionadas de manera que al aumentar el valor del oxígeno disuelto, se incrementa el valor del arsénico, existe una leve tendencia al aumento (correlación positiva).

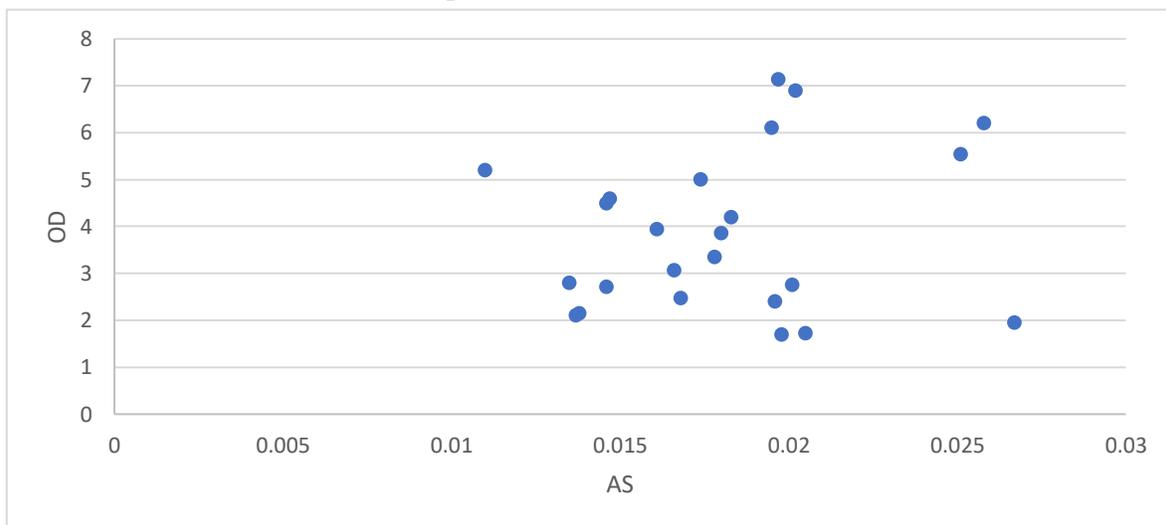


Figura 39: Diagrama de dispersión, arsénico vs oxígeno disuelto.

En la figura 40, se observa que la conductividad eléctrica y el arsénico están relacionadas de manera que al aumentar una aumenta la otra, es decir al aumentar el valor de la conductividad eléctrica, aumenta el valor del arsénico. Existe una leve tendencia al aumento (correlación positiva).

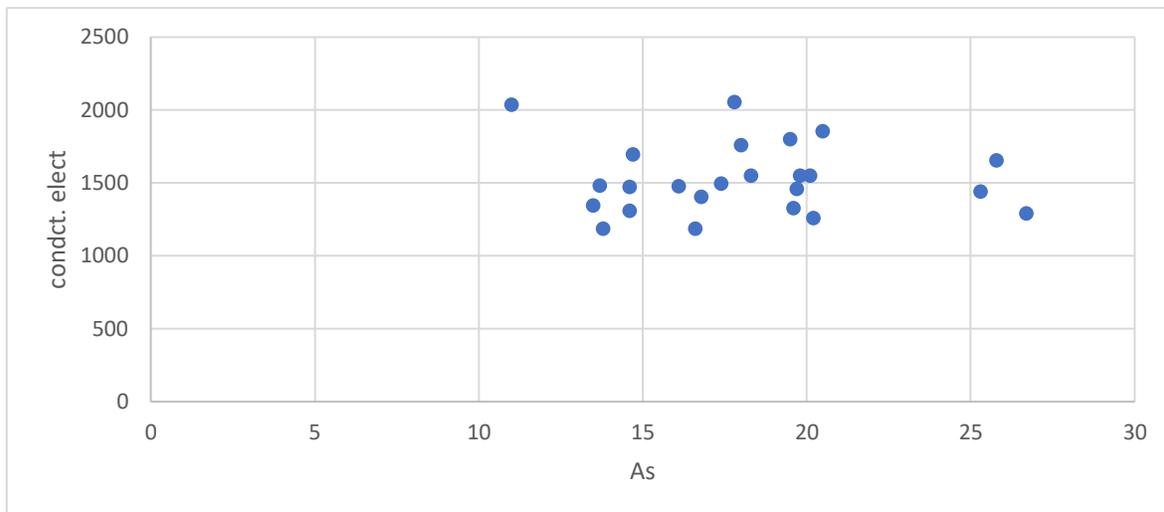


Figura 40: Diagrama de dispersión, arsénico vs conductividad eléctrica

7 USOS DEL SUELO Y DEL SISTEMA HIDRICO SUBTERRANEO

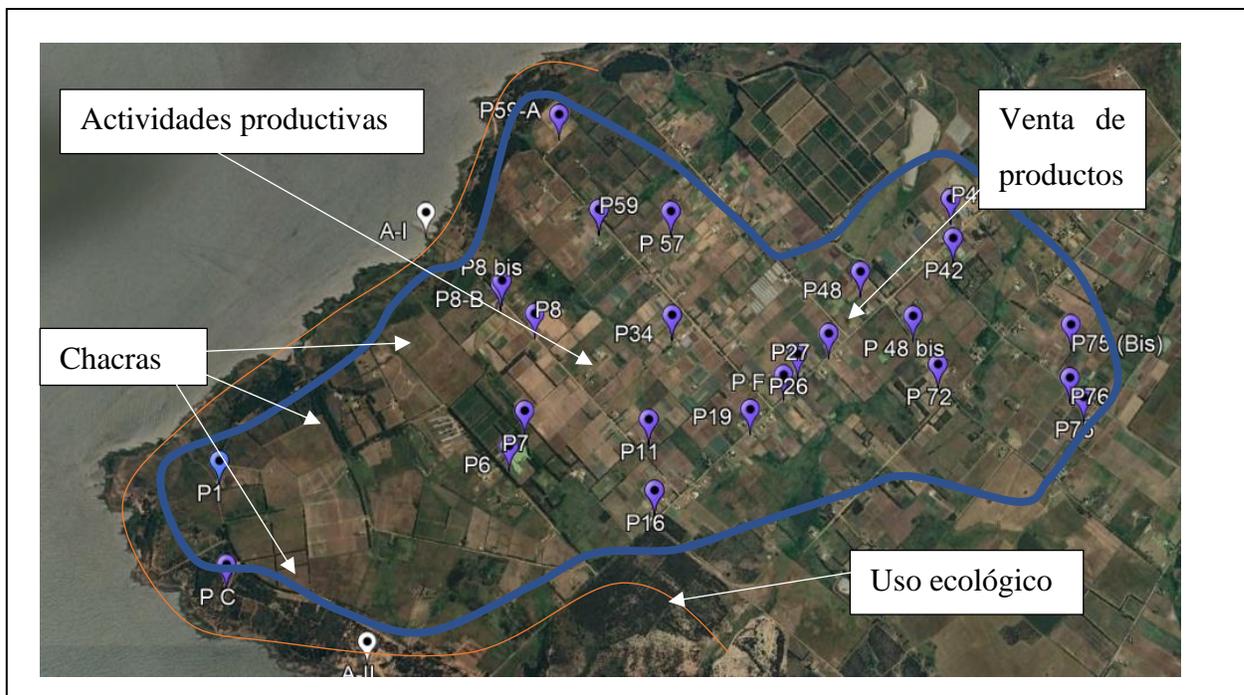
El área de estudio está formada por fracciones de territorio que se diferencian en función de sus particularidades y valores agrícolas, ecológicos y paisajísticos con el fin de conservar su riqueza productiva, características naturales y ambientales.

En la zona se distinguen principalmente tres tipos de usos de suelos:

- Las de uso agrario, regiones destacadas con diferentes actividades agropecuarias, principalmente agrícola intensiva (hortícola, frutícola) y de cría de animales pequeños.
- Las de uso ecológico y/o actividades compatibles, zonas significativas que se diferencian por sus valores naturales, ambientales y culturales que merecen ser objeto de medidas de conservación. (Parque Punta Espinillo, Bañados sobre el Río Santa Lucia).
- Las de uso residencial, predios con construcciones destinadas a ser viviendas de uso residencial, viviendas unifamiliares.

En la figura 41 se identifican las coberturas del suelo para la totalidad de la superficie del área de estudio. En general presenta una cobertura rural de suelo predominante, caracterizado por cultivos agrícolas y una zona hacia la costa de uso ecológico y/o de actividades compatibles.

Por medio de la observación directa se identificaron nuevas actividades: como ser chacras de segunda residencia y viviendas con espacios destinados a la comercialización de productos agropecuarios.



Producción

Dentro de los rubros principales de producción se encuentra la producción hortícola (cultivos intensivos), frutícola y producción de animales. En la producción hortícola se encuentran cultivos de hoja verde, como ser la acelga, espinaca, zanahorias, brócoli, el alcaucil y dentro de la producción frutícola están: las mandarinas, ciruelas y duraznos. En cuanto a la producción animal están los establecimientos destinados a la avicultura.

Por lo general los predios son reducidos, en promedio tienen entre 3 y 10 hectáreas y son trabajados principalmente por agricultores y sus familias.

Los suelos son aptos para el cultivo, aunque un poco degradados por el uso intensivo. Predominan los Brunosoles subeutricos, a veces eutricos, trépticos, y Lúvicos, cuya textura es francolimosa, con una fertilidad alta moderadamente bien drenados.

En cuanto al uso de agrotóxicos en el sector agropecuario se puede decir que los productores utilizan fertilizante, herbicidas e insecticidas en sus cultivos. Los principales fertilizantes utilizados son los nitrogenados ya que son considerados fertilizantes altamente efectivos.

Si bien un gran número de productores se vieron favorecidos por el programa PRENADER al realizar nuevos pozos para riego, la insuficiencia de agua para riego por la producción intensiva, podría desencadenar una serie de conflictos sociales. La proximidad de los pozos ocasionaría interferencia de los mismos.

La sobreexplotación del recurso hídrico podría ocasionar grandes descensos de los niveles estáticos y en algunos casos el agotamiento del recurso.

8. CONCLUSIONES

Finalizada la investigación, se presenta a continuación las principales conclusiones:

Realizando una evaluación de los resultados hidrogeológicos, se obtiene:

- A partir de la observación y comparación de la evolución piezométrica de los años 2004 y 2022 se registra un proceso de descenso generalizado de los niveles piezométricos. Este descenso puede estar dado por la sobreexplotación del recurso y/o por las escasas precipitaciones.
- El comportamiento del agua subterránea es similar, en toda el área, el flujo se dirige a las zonas de descarga de los sistemas (arroyos y cañadas).
- Se mantiene la misma orientación y sentido del flujo de agua subterránea en la mayoría de las isopiezas (período 2004-2022): Hacia el norte y noroeste y hacia el sur y sureste.

Realizando una evaluación de los resultados físico-químicos obtenidos en campo, se obtiene:

- La temperatura, pH, la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto se encuentran dentro del rango permitido por la normativa vigente de Uruguay.

Realizando una evaluación de los resultados químicos en laboratorio, se obtiene:

- En lo que respecta a la determinación de nitrato en agua subterránea el 25 % de las muestras analizadas están por encima del valor medio permitido según la norma UNIT 833(2008).
- Los valores anómalos se dan en los pozos P8, P42, P48, P59 y P75, las altas concentraciones de nitrato podrían estar indicando un uso excesivo de fertilizantes y/o pesticidas (predios con alta actividad agrícola), mientras que el pozo PC ubicado al oeste de zona de estudio(camping) el alto valor en nitrato podría estar dado por la cercanía a una fosa séptica, ya que próximo a la perforación existen baños públicos.

- Se observa un descenso generalizado de las concentraciones de nitrato con respecto a los establecidos por Gueréquiz (2004), que podría estar relacionado con la disminución de los niveles piezométricos o por las técnicas utilizadas para el análisis.
- En cuanto a la determinación de amonio en agua subterránea, se observa que el 100 % de las muestras, están por debajo del valor máximo permitido por la norma vigente de Uruguay. Este descenso puede estar dado por la disminución de los niveles piezométricos o por la técnica utilizada para realización de dicho análisis.
- Con respecto al arsénico el 25% de las muestras exceden el valor máximo permitido según la norma UNIT 833/2008, siendo los pozos comprometidos: P1, P19, P26, P27, P48 bis y P59 y considerando la sugerencia de la Organización Mundial de la Salud (0.01 mg/L), todas las muestras excederían el límite sugerido.
- La presencia de arsénico en el agua subterránea de Punta Espinillo puede estar asociado a un proceso de disolución de cenizas volcánicas (proceso natural que se desarrolla el entre la roca y el agua en determinadas litologías.

Realizando una evaluación de los resultados del uso del suelo y del sistema hídrico subterráneo, se obtiene:

- A nivel general se determina que la mayor parte del área de estudio son tierras usadas para el desarrollo de agricultura intensiva, con aporte de fertilizantes nitrogenados.
- La sobre explotación del recurso hídrico por prácticas agropecuarias intensivas podría estar ocasionando una disminución en el rendimiento de los pozos, afectando la cantidad y calidad del recurso además de una posible intrusión salina costera lateral.

Resultados preliminares de esta investigación “Evaluación de la calidad del agua por Arsénico en Punta Espinillo” fueron presentados en el X Congreso Uruguayo de Geología y II Simposio de Arsénico en agua subterránea del Uruguay, realizado entre los días 7 y 10 de noviembre de 2022 en el Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU), Uruguay (ver Anexo 1).

9.BIBLIOGRAFÍA

- Achkar, M. (2012).** Cuenca del río Santa Lucía-Uruguay. Aportes para la distribución ciudadana. Montevideo: IECA-Facultad de Ciencias- Udelar.
- Barreiro, M., Arizmendi, F., & Trinchin, R. (2019).** Proyecto: “Fortalecer las Capacidades de Uruguay para la adaptación al cambio climático en la zona Costera. Recuperado el 1 de agosto de 2022, de Variabilidad observada del clima en Uruguay (E2): <https://www.ambiente.gub.uy/oan/documentos/Producto-2.pdf>
- Bocanegra, o., Bocanegra, E., & Alvarez, A. (2002).** Arsénico en aguas Subterráneas: su impacto en la salud Resumen. El arsénico constituye usualmente un componente del agua subter. Recuperado el 1 de noviembre de 2022, de COFES: https://cofes.com.ar/descargas/info_sector/Arsenico/Bocanegra2_Alvarez_pdAs_Estudio_Bocanegra.pdf
- Bossi, j., & Navarro, R. (1988).** Geología de Uruguay. Departamento de Publicaciones Montevideo: Universidad de la República. Uruguay.
- Bossi, J., Celio, A., & Marmol, S. (2016).** Formación Libertad:su reformulación. Montevideo: Uruguay vol.20. Recuperado el 5 de December de 2022, de Agrociencia Uruguay: <https://agrocienciauruguay uy/index.php/agrociencia/article/view/225/187>
- Bossi, J., Ferrando, L., Montaña, J., Campal, N., Morales, H., Gancio, F., . . . Sprechmann, P. (1998).** Carta Geológica del Uruguay. Facultad de Agronomía.
- Campal, N., Oyhantcabal, P., & Ibachmann. (1988).** Carta Geológica del Uruguay. Montevideo, Uruguay: DINAMIGE.
- Cassol, E., Levien, R., Anghinoni. I., Badelucci, M., (2002).** Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 26:705-12d.

- Collazo, P., & Montaña, J. (2012).** Manual de agua subterránea | Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Recuperado el 1 de noviembre de 2022, de GUB.UY: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/manual-agua-subterranea>
- Collazo, P. et al (2016).** Arsénico en agua subterránea de Uruguay riesgo a la salud asociada (Proyecto AsURU). Recuperado el 1 de noviembre de 2022, de <http://icgeologicas.fcien.edu.uy/investigacion/publicaciones-cientificas/>
- Custodio, E., & Llamas, M. (1983).** Hidrología Subterránea (Vol. 1). Edición Omega, S.A.. Plantón, 26 Barcelona.
- DINAGUA. (s.f.).** Recuperado el 9 de setiembre de 2022, de Visualizador DINAGUA: <https://lastmile.presidencia.gub.uy/portal/apps/webappviewer/index.html?id=8666d11d6b664b39b58a2b7471f64333>
- Dominguez, A., Prieto, R., & Achker, M. (2000).** Perfil Ambiental del Uruguay. El Sistema ambiental uruguayo. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias.
- Gatneks (2021)** El Nitrogeno: Ciclo, Funciones y Pérdidas. <https://gatmeks.com/el-nitrogeno-ciclo-funciones-y-perdidas/>
- Goso, H. (1965).** El Cenozoico en Uruguay. Montevideo: Instituto de Geología de Uruguay 36p.
- Graterol, M., & Pasteur, L. (2013).** Roca Metamórfica Anfibolita - Banco de imágenes - UMA Divulga. Recuperado el 5 de December de 2022, de UMA Divulga: <https://www.umadivulga.uma.es/banco-de-imagenes/roca-metamorfica-anfibolita/>
- Gueréquiz, R. (2004).** Caracterização hidroquímica e avaliação dos impactos das atividades agrícolas na qualidade das águas de um aquífero fissurado no embasamento pré-cambriano uruguaio. Geologia Ambiental, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. <https://www.umadivulga.uma.es/banco-de-imagenes/roca-metamorfica-anfibolita/>

Gueréquiz, R. (2004). Estudio Hidrogeoquímico de un acuífero fracturado en rocas precámbricas en las costas del Río de la Plata. Revista Sociedad Uruguaya de Geología. N11. https://www.ambiente.gub.uy/pmb/opac_css/index.php?lvl=author_see&id=8212

Instituto Geográfico Militar. (s.f.). Geoportal – Instituto Geográfico Militar. Recuperado el 5 de December de 2022, de Instituto Geográfico Militar: <https://igm.gub.uy/geoportal/>

Instituto Uruguayo de Meteorología. (2011). Clasificación climática. Recuperado el 1 de julio de 2022, de Inumet: <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/clasificacion-climatica>

Intendencia de Montevideo. (2014). Montevideo Rural. Recuperado el 6 de Setiembre de 2022, de Intendencia de Montevideo. |: <https://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/empresas-y-economia/montevideo-rural>

Kimmell, R., Pierynski, G., Janssen, K., Barnes, P.(2001)Effect of tillage and phosphorus placement on phosphorus runoff losses in a grain sorghum-soybean rotation. Journal of Environmental Quality 30:1324-30.

Lillo, J. (2020). Contaminación geogénica de arsénico en las aguas subterráneas. Recuperado el 1 de noviembre de 2022, de iAgua: <https://www.iagua.es/blogs/javier-lillo/contaminacion-geogenica-arsenico-aguas-subterranas>

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (s.f.). Anuario DIEA 2020. Recuperado el 9 de Setiembre de 2022, de Centro de Descargas del MGAP: <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2020/ANUARIO2020.pdf>

Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (s.f.). Carta de suelos escala 1:40.000. Recuperado 1 de junio 2023 de Dirección General de Recursos Naturales <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/tramites-y-servicios/servicios/carta-suelos-escala-140000>

Ministerio para la transición Ecológica y del reto Demográfico. (s.f.). Recuperado el 13 de Noviembre de 2022, de <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-subterranas/>

Montaño, J., Guerequiz, R., Da Rosa Filho, E., Hindi, E., Cazuax, S., Montaño, M., Pomoukoghlian, K., Gogliardi, S., Pereira, A., Vidal, H. (2002). Determinación de la Capacidad de los sistemas fisurados de Punta Espinillo. Recuperado el 13 de Noviembre de 2022, <http://ceregias.org/files/Repositorio%20documentos%20agua%20subterranea/Documentos%20del%20excel/54.pdf>

Montaño, J., Collazo, P., Martínez, S., Guréquiz, R., (2000). Caracterización Hidrogeológica de sistemas Fisurados de Punta Espinillo, (Uruguay) Recuperado el 13 de Noviembre de 2022, de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ20220778702>

Montaño, J. (1998). Programa de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego (PRENADER)

Panario, D. (1988). Geomorfología del Uruguay. Departamento Publicaciones - Facultad de Humanidades y Ciencias.

Rosello, E. (2001). La cuenca Santa Lucía (Uruguay): un pull-apart Juro-Cretácico tansensivo dextral. Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56(1): 38-50.

Severova, V. (1997). Características generales del clima de Uruguay. Unidad de Meteorología, Facultad de Ciencias. Universidad de la República.

ANEXO I



EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR ARSÉNICO EN PUNTA ESPINILLO, MONTEVIDEO

González, R.¹; Collazo, P.^{2*}; Bühl, V.³; Pizzorno, P.^{3*}; Akerman, F.^{2*}

¹ Facultad de Ciencias, Centro Universitario Rivera, Licenciatura en Recursos Naturales, romgonzalez@ciem.edu.uy
² Recursos Hídricos Subterráneos, Instituto de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias, mpizad@ciem.edu.uy | fakerman@ciem.edu.uy
³ Facultad de Química, Área Toxicología y Química Analítica, vbuhl@quimica.edu.uy | ppizzorno@quimica.edu.uy



OBJETIVO Determinar el uso actual del agua subterránea y evaluar la calidad en arsénico en Punta Espinillo, Montevideo.

Introducción

El agua subterránea es un recurso de vital importancia tanto para el abastecimiento humano como para el riego, un uso y una gestión adecuada son necesarios para la sustentabilidad y para la conservación del mismo. La zona de Punta Espinillo, ubicada al Oeste de Montevideo, tiene como actividad principal la actividad agropecuaria, el agua en cuanto a producción y desarrollo, se produjo entre los años 1997-2000. Este desarrollo productivo se vio favorecido a partir del “Programa de Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo del Riego (PMRDR)” que buscó el manejo eficiente de los recursos naturales y el uso del agua para riego. En este sentido más de 100 productores se vieron beneficiados por este programa realizando pozos para riego y logrando un mejoramiento productivo. La densidad media de pozos en la zona, es de 4 por km² con un promedio de 13 por ha. Este desarrollo trajo de la mano, uno de los conflictos más importantes de la zona, el conflicto por el uso del agua. La zona fue altamente explotada, causando descensos de los niveles estáticos y agotamiento de los pozos, además de conflictos entre productores por interferencia de los mismos. Debido a la importancia que tuvo y que tiene el agua subterránea en la zona, es que se propone como objetivo general evaluar el uso actual y la calidad del agua subterránea, enfatizando en el arsénico como elemento tóxico que continúa riendo asociados a la salud.

Actividades y Metodología

Gabinete 1:

- 1- Revisión, análisis e interpretación de datos existentes. Para la geología se utilizó la Carta Geológica de Montevideo a escala 1:50000 (Spotorno, I. 2004). Se utilizaron los visualizadores de la DINAMIGE y DINAGUA para la localización de pozos existentes y nuevos.
- 2- Ingreso de datos existentes y relevados en campo a un SIG (Software QGIS).
- 3- Diseño y confección de planilla de datos de pozos para campo de pozos y actividades prediales. Selección de pozos para toma de muestra de agua subterránea para determinar el arsénico.

Campo:

- Consistió en visitar los pozos que contaban con pozos, ubicados y seleccionados en la etapa de Gabinete 1. La metodología para cada uno de los pozos obtenidos es la siguiente:
- 1- Ubicación del pozo se obtiene las coordenadas geográficas mediante GPS (marca Garmin).
 - 2- Toma de muestra del agua subterránea, según los protocolos de muestreo.

Laboratorio:

La determinación de Arsénico en el agua se realizó en el Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Química (Montevideo).

Gabinete 2:

- Procesamiento de datos a partir de las actividades de campo y laboratorio. Confección del mapa geológico y mapa de concentración de Arsénico en agua subterránea. El mapa de concentración de Arsénico fue elaborado a través del uso del método de interpolación IDW en QGIS.

Localización área de estudio

Punta Espinillo se sitúa al Oeste del Departamento de Montevideo (Figura 1), abarcando un área aproximadamente de 14km². Se limita al Sur y Oeste por el Río de la Plata y al Norte y Este por la Ruta N°1.



Figura 1: Mapa de localización del área



Figura 2: Pozos y muestreos de agua

Geología

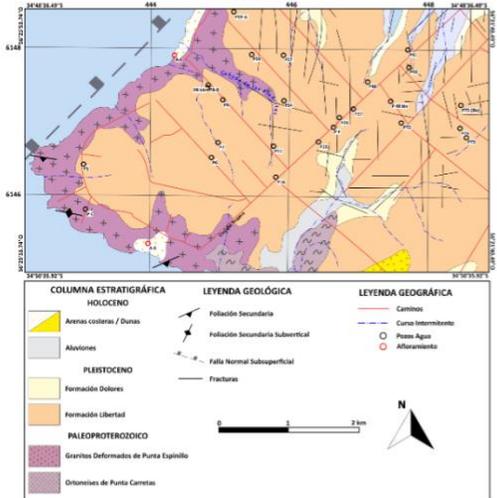


Figura 4: Mapa Geológico a escala 1:25000 del Área de Punta Espinillo, Montevideo. Modificado de Spotorno, I. (2004)

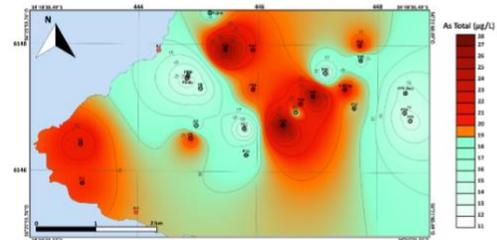


Figura 3: Abarrotamiento de gravas deformadas y dañas

Muestras	Resultados As Total (µg/L)	Muestras	Resultados As Total (µg/L)
P1	20,5	P75 (Bis)	14,6
P6	19,6	P76	13,8
P7	16,8	PF	18,0
P16	17,4	P48	14,6
P19	26,7	P48 bis	20,2
P26	20,1	P59	25,8
P27	25,3	P59-A	17,8
P34	19,5	P11	13,7
P41	19,8	P8	14,7
P42	16,6	P8 bis	11,0
P72	18,3	P8-B	16,1
P75	13,5	PC	19,7

Hidrogeología - Hidrogeoquímica

Mapa Concentración de Arsénico en Agua Subterránea en Punta Espinillo según Norma UNIT 833 (2008)



Mapa Concentración de Arsénico en Agua Subterránea en Punta Espinillo según OMS (2011)

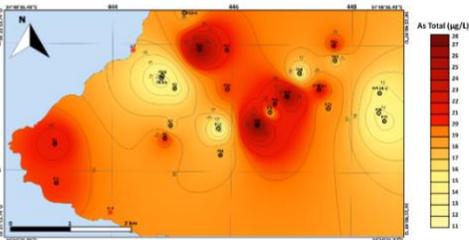


Figura 5: Mapa de concentración de arsénico en agua subterránea

Conclusiones

Se realizaron dos mapas de concentración de arsénico en agua subterránea, uno según Norma UNIT 833 (2008) y el otro según la OMS (2011).

El dato máximo de Arsénico total (µg/L) es de 26.7 y el mínimo es de 11, en 26 pozos.

Si tomamos la Norma UNIT 833 (2008), el 42% de los pozos está contaminado con arsénico. Mientas que según la OMS (2011), el 100% de los pozos se encuentran contaminados.

Bibliografía

Spotorno, J.; Oyhantcabal, P.; Goso, C.; Aubet, N.; Cazaux, S.; Huelmo, S.; Techera, J.; Arrighetti, R.; Morales, E.; Martínez, G.; Gianotti, V. 2004. Mapa Geológico del Departamento de Montevideo a escala 1:50000. Proyecto CONICYT 6019 - Fondo Clemente Estable Convenio Departamento de Geología (Facultad de Ciencias - UdELAR) - DI.NA.MI.GE (MIEM). Coordinadores: Jorge Spotorno - Pedro Oyhantcabal

ANEXO II: DATOS CLIMÁTICOS

Figura 1: Precipitaciones anuales recopiladas de la Estación Meteorológica Melilla - Aeropuerto Internacional Ángel S. Adami, durante el período 1991-2021 (INUMET).

Precipitaciones		Estación Meteorológica Melilla - Aeropuerto Internacional Ángel S. Adami											
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Nov.	Dic.	
1991	80,5	54,8	20,5	111,9	75,5	122,1	160,9	101,8	69,4	113,4	86,2	82,1	
1992	44	71,7	50,2	134,6	91,4	109,5	55,3	82,5	60,9	112,8	65,9	8,2	
1993	115,5	298,9	40,1	310,4	74,1	64,1	57,4	37,5	51,3	184,1	176,1	148,3	
1994	39,1	39,1	108	111,8	169,7	51,3	155,3	29,1	64,4	128,7	125,6	101,8	
1995	58,2	112,8	112,3	139,2	67,2	97,5	46,5	11,7	33,8	69,5	220,7	36,1	
1996	63,3	73,1	64,5	160,4	24	62,8	44,5	26,6	94	94,7	91,9	121,1	
1997	49,5	62,7	33,2	42,5	101,2	93,1	43,4	152,8	30,9	75	50,6	276,3	
1998	155,8	43,2	138,5	100,8	41,3	37,4	96,1	23,3	93,6	26,5	93,9	274,2	
1999	237	113,6	155,5	66,6	47,7	77,4	105	115,7	92,9	41	41,2	73,9	
2000	29,9	30,9	87,4	184,1	283,7	124,3	117,6	131,7	115,1	122,2	88,8	101,6	
2001	129,2	178	204,8	64,2	77,7	137,1	96,3	129	80,2	192,9	126,7	31,7	
2002	106,2	119,2	483,9	62,6	164,9	28,7	82,8	82	68,4	79,2	113,8	147,7	
2003	59	109,2	56	44,7	100,3	129,7	66,5	62,9	155,2	61,4	175,1	117,7	
2004	68,4	129,1	23,1	209,7	31,8	74,6	45,3	70	44,9	152,8	100,3	55,2	
2005	231	78,8	74,1	176,4	95,1	140,6	107,4	64,9	101,2	51,7	42	40,6	
2006	178,7	61,2	195,9	44,2	11,1	233,9	72,8	38,7	42,5	96,3	84,9	114,1	
2007	24,6	124,5	261,4	181,6	70,9	59,2	17,6	80,9	124	138,4	59,8	41	
2008	75,3	117	112,9	18,3	34,2	85,3	58,6	63,2	26,7	26,9	3,8	26,9	
2009	65,7	134	115,8	9,4	68	116	106,4	50,5	83,4	163,1	153,8	43,1	
2010	117,9	202,4	45,3	102,2	83	82	179,5	99,2	123	48,8	30,3	38	
2011	29,5	68,4	56	57,6	46	147,7	163,2	73	40,7	51,2	85,6	76,9	
2012	37,9	71,8	104,7	58,5	66,6	117,2	40	184,9	115,7	292,4	55,8	221,6	
2013	50,1	135,2	39	204,4	104	9,9	45	26,6	171,1	9	165,4	12,4	
2014	347,2	337,8	86,7	153,7	52,5	79,3	148,6	74,6	189,5	166,6	241,6	86	
2015	98,3	9,6	80,5	50,8	28,2	21,3	32	254	39,5	79,8	69,2	139,3	
2016	14,2	78,7	132,8	230,3	68,2	17,1	178,3	87,5	61,2	109,6	59,7	118,5	
2017	114,5	75,5	70,8	52,8	180	7	129,3	213,2	139,2	94,8	34,4	99,9	
2018	89,3	69	147	116	101,5	88	207,8	135,7	110,2	18,9	95,9	270,2	
2019	151,9	61,5	127,6	54,5	161,2	101,1	95,9	81,8	75,6	207,1	52,5	28,7	
2020	29,8	38,4	100,5	127,1	69,3	222	31,1	60,8	62,6	59,7	36,5	58,2	
2021	81,3	104,5	84,9	73,2	76,6	111,9	45,1	44,2	98,1	23,7	82,9	3,2	

ANEXO III: DATOS DE TEMPERATURA ANUALES

Figura 1: Temperaturas anuales recopiladas de la Estación Meteorológica Melilla - Aeropuerto Internacional Ángel S. Adami, durante el período 1991-2021 (INUMET).

año	Enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiem	octub	nov	dic
1991	22,1	23,45	21,75	16,1	16,95	9,7	12,4	13,1	16,35	16	20	22,45
1992	20,9	23,8	22,25	17,8	14,5	14,2	11,95	11	16,6	17,3	17,1	20,95
1993	24,55	22,3	21,45	19	12,15	10,55	10,15	12,25	13,3	19,2	21,25	21,95
1994	23,45	22,2	21,05	16,85	16,4	10,6	11,75	12,05	16,75	15,35	19,1	22,95
1995	23,45	20,7	21	20,1	13,05	12,25	12	12,75	17,15	18,25	21,45	22,7
1996	24,5	21,25	21,15	18,4	13,45	12,65	11,8	16,65	15,05	17,3	19,25	23,7
1997	24,4	23,05	20,4	19,55	15,45	9,5	14,15	15,55	14,05	17,35	18,3	21,75
1998	21,3	21,4	22,4	16,45	15,05	10,7	11,6	11,3	13,7	18,35	19,7	22,95
1999	21,95	21,25	21,65	16,25	16,75	10,7	10,9	13,55	15,45	16,45	18,65	23,65
2000	25,5	22,9	19,95	18,05	13,8	14,7	10,6	12,05	14,35	17,9	19,6	21,4
2001	23,95	23,15	23,6	17,8	14,9	12,4	13,5	16,6	15	18,85	19,65	21,6
2002	23,85	23,25	21,35	16,65	17	10,2	11,55	16,9	14,1	18,6	19,1	21,5
2003	23,75	22,1	19,8	16,1	15,05	11,6	11,6	13,3	13,95	17,3	19,35	20,65
2004	22,55	24,4	21,85	20,75	12,6	14	12	13,7	15,05	15,75	17,85	21,55
2005	23,8	21,6	22,9	15,35	14,15	15,05	13,95	14,75	14,55	17,75	20,4	19,8
2006	24	21,95	19,6	17	12,65	14,75	13,6	13,55	14,7	19,95	19,65	22,95
2007	22,65	24,1	21,55	18,65	13,2	10,35	9,5	12,95	17,2	19,05	17,65	22,6
2008	23,9	24,6	21,4	16,95	14,6	9,6	15,15	12,05	13,15	15,7	21,45	22,9
2009	24,15	23,35	21,3	17,25	15,05	9,6	8,7	14,9	12,95	17,55	18,5	21,65
2010	22,85	21,55	15,45	16,65	14,9	11,65	12,8	12,3	13,9	16,3	19,15	21,9
2011	25,3	24,2	21,8	16,9	13,45	10,35	12,35	12,3	14,15	16,1	20,8	22,8
2012	25,25	24,35	22,2	15,9	15,8	11,2	11,1	16	15,2	18,25	21,3	24,2
2013	23,9	23,3	19,8	16,85	13,25	11,3	11,55	13,5	16,35	16,8	20,2	23,4
2014	24,4	24,8	18,7	17,5	11,8	12,1	11,1	15,8	15	19,3	20,9	22,35
2015	23,15	24	21,2	19,45	15,35	12,3	13,05	18,6	14,4	15,1	18,45	22,4
2016	26,4	26,35	22,5	14,7	11,85	10,3	11,6	14,9	15,8	17	20,35	22,6
2017	23,95	22,8	22,9	17,8	16,2	13,1	11,75	13,4	17,35	16,15	20,8	22,65
2018	24,35	23,7	21,6	22,1	16,25	9,6	11,8	13,75	16,2	17,05	21,2	19,85
2019	24,25	21,65	20,8	19,4	14,8	12,85	13,15	13,4	14,55	17,05	22,9	23,55
2020	22,75	24,85	23,15	18,6	15,95	12,35	12,2	13,05	14,65	17,95	22,05	21,95
2021	22,45	21,8	20,5	18,75	14,15	10,9	12,25	14,5	13,9	18,2	20,6	23,6

ANEXO IV: RESULTADOS DE CENSOS DE POZOS.

POZO SEMISURGENTE N ° 1	PADRÓN: 408882
COORDENADAS: 552751.39 E / 6145742.71 S/	Altitud o Elevación (m):17
Ubicación de predio y pozo	
	
 	
Profundidad total del pozo (m)	60
Caudal (Litros/hora)	4000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	16.39
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	
Nivel Estático anterior (NE an) (m)	15 m
Profundidad de aportes (m)	42
Tubería (largo y material)	Sin tubería, caño a ras del suelo
Losa sanitaria	Sin losa

POZO SEMISURGENTE N ° 6	PADRÓN: 403989
COORDENADAS: 554516.73 E / 6145826.14 S Altitud o Elevación (m):29	
Ubicación de predio y pozo 	
	
Profundidad total del pozo (m)	47
Caudal (Litros/hora)	-
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	4.435(m)
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	
Nivel Estático anterior (NE an) (m)	14.7m
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	0.64
Losa sanitaria	Con losa

POZO SEMISURGENTE N ° 7	PADRÓN: 403989
COORDENADAS: 554653.12/ 61466006.63S Altitud o Elevación (m):21	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	64
Caudal (Litros/hora)	-
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	8.84(m)
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	
Nivel Estático anterior (NE an) (m)	1m
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	0.16
Losa sanitaria	Con losa

POZO SEMISURGENTE N ° 8	PADRÓN: 166978
COORDENADAS: 554722.71 E/ 6146600.76m S Altitud o Elevación (m):24	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	50
Caudal (Litros/hora)	40000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	-
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE an) (m)	
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	-
Losa sanitaria	-

POZO SEMISURGENTE N ° 8 Bis	PADRÓN: 166978
COORDENADAS: 554510.37 m E/ 6146777.61mS Altitud o Elevación (m):15	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	36
Caudal (Litros/hora)	-
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	-
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE an) (m)	
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	-
Losa sanitaria	-

POZO SEMISURGENTE N ° 8 -B	PADRÓN: -
COORDENADAS: 554520.69 m E / 6146805.28m S Altitud o Elevación (m):13	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	36
Caudal (Litros/hora)	12000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	-
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE an) (m)	
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	-
Losa sanitaria	-

POZO SEMISURGENTE N ° c	PADRÓN: -
COORDENADAS: 552793.44m E /614508.13 m S Altitud o Elevación (m):26	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	-
Caudal (Litros/hora)	-
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	11.94
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE an) (m)	-
Profundidad de aportes (m)	
Tubería (largo y material)	0.25
Losa sanitaria	-

POZO SEMISURGENTE N °11	PADRÓN: 166998
COORDENADAS: 555424.99 E/ 6145946.55 S	Altitud o Elevación (m):27
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	41
Caudal (Litros/hora)	-
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	9.64
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE an) (m)	5
Profundidad de aportes (m)	
Tubería (largo y material)	0.27
Losa sanitaria	si

POZO SEMISURGENTE N ° 16	PADRÓN: 166968
COORDENADAS: 555455.39 E / 6145512.01 S Altitud o Elevación (m):32	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	47
Caudal (Litros/hora)	20000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	29.81
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE an) (m)	17
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	0.27
Losa sanitaria	0.15

POZO SEMISURGENTE N ° 19		PADRÓN: 406833
COORDENADAS: 556055.30E / 6146001.25 S Altitud o Elevación (m):25		
Ubicación de predio y pozo		
		
		
Profundidad total del pozo (m)	37	
Caudal (Litros/hora)	20000	
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	11.86	
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-	
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	9	
Profundidad de aportes (m)	-	
Tubería (largo y material)	0.60	
Losa sanitaria	si	

POZO SEMISURGENTE N ° 26	PADRÓN: 170277
COORDENADAS: 556352.04 E / 6146338.29 S Altitud o Elevación (m):29	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	55
Caudal (Litros/hora)	25000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	24.41
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	16
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	0.40
Losa sanitaria	si

POZO SEMISURGENTE N ° 27	PADRÓN:
COORDENADAS: 556264.00 E /6146210.00 S	Altitud o Elevación (m):29
Ubicación de predio y pozo	
	
 	
Profundidad total del pozo (m)	42
Caudal (Litros/hora)	16000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	26.08
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	19
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	0.40
Losa sanitaria	si

POZO SEMISURGENTE N ° 34	PADRÓN: 167009
COORDENADAS: 555575.00E / 6146583.00 S Altitud o Elevación (m):25	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	45
Caudal (Litros/hora)	4500
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	26.08
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	9.5
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	-
Losa sanitaria	-

POZO SEMISURGENTE N ° 41	PADRÓN: 406808
COORDENADAS: 557315.62 E/ 6147278.05 S Altitud o Elevación:16 m)	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	60
Caudal (Litros/hora)	6000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	8.5
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	6
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	0.40
Losa sanitaria	si

POZO SEMISURGENTE N ° 42	PADRÓN: 400950
COORDENADAS: 557326.82 E/ 6147037.70 S Altitud o Elevación:23 (m)	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	47
Caudal (Litros/hora)	9000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	12.215
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	8.2
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	0.40
Losa sanitaria	no

POZO SEMISURGENTE N ° 48	PADRÓN: 170274
COORDENADAS: 556748.89 E / 6146837.98 S Altitud o Elevación:31 (m)	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	60
Caudal (Litros/hora)	6000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	-
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	7
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	-
Losa sanitaria	-

POZO SEMISURGENTE N ° 48 Bis	PADRÓN: -
COORDENADAS: 557071.67 E / 6146562.79 S Altitud o Elevación:29 (m)	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	-
Caudal (Litros/hora)	-
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	-
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	-
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	-
Losa sanitaria	-

POZO SEMISURGENTE N ° 57		PADRÓN: 183202
COORDENADAS: 555574.61 E / 6147218.69 S Altitud o Elevación:23 (m)		
Ubicación de predio y pozo		
		
Profundidad total del pozo (m)	38	
Caudal (Litros/hora)	-	
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	-	
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-	
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	23	
Profundidad de aportes (m)	-	
Tubería (largo y material)	-	
Losa sanitaria	-	

POZO SEMISURGENTE N ° 59		PADRÓN: 183202
COORDENADAS: 555127.89 E/ 6147232.92 S Altitud o Elevación:28 (m)		
Ubicación de predio y pozo		
		
		
Profundidad total del pozo (m)	42	
Caudal (Litros/hora)	3000	
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	35.02	
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-	
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	22	
Profundidad de aportes (m)	-	
Tubería (largo y material)	0.19	
Losa sanitaria	si	

POZO SEMISURGENTE N ° 59- A	PADRÓN: -
COORDENADAS: 554884.97 E / 6147819.68 S Altitud o Elevación:20 (m)	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	-
Caudal (Litros/hora)	-
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	18.37
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	24
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	0.20
Losa sanitaria	si

POZO SEMISURGENTE N ° 72		PADRÓN:
COORDENADAS: 5572221.86 E / 6146265.68S Altitud o Elevación:36 (m)		
Ubicación de predio y pozo		
		
Profundidad total del pozo (m)	45	
Caudal (Litros/hora)	-	
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	-	
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-	
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	10	
Profundidad de aportes (m)	-	
Tubería (largo y material)	-	
Losa sanitaria	si	

POZO SEMISURGENTE N ° 75		PADRÓN: -
COORDENADAS: 558125.96 E / 6146056.14S Altitud o Elevación:36 (m)		
Ubicación de predio y pozo		
		
		
Profundidad total del pozo (m)	45	
Caudal (Litros/hora)	12000	
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	-	
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-	
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	-	
Profundidad de aportes (m)	-	
Tubería (largo y material)	no	
Losa sanitaria	no	

POZO SEMISURGENTE N ° 75 Bis	PADRÓN:154773
COORDENADAS: 558050.02 E/ 6146500.22 S Altitud o Elevación:33 (m)	
<p>Ubicación de predio y pozo</p> 	
	
Profundidad total del pozo (m)	45
Caudal (Litros/hora)	14000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	-
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	15
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	-
Losa sanitaria	-

POZO SEMISURGENTE N ° 76	PADRÓN:166169
COORDENADAS: 558040.35 E/ 6146176.82 S Altitud o Elevación:33 (m)	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	61
Caudal (Litros/hora)	5000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	16.31
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	0
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	0.60
Losa sanitaria	si

POZO SEMISURGENTE N ° F 24	PADRÓN:406836
COORDENADAS: 556264.54 E/ 6146210.48S Altitud o Elevación:27 (m)	
Ubicación de predio y pozo	
	
	
Profundidad total del pozo (m)	42
Caudal (Litros/hora)	9000
Nivel Estático medido en campo (N.E.) (m)	-
Nivel Estático medido y acotado (NE ac) (m)	-
Nivel Estático anterior (NE ant) (m)	12
Profundidad de aportes (m)	-
Tubería (largo y material)	-
Losa sanitaria	-

ANEXO V: DATOS HIDRÁULICOS

Identif. Pozos	Coord.E	Coord. S	Coord z	Profundidad (m)	N.E. Anterior (m)	N.E. actual (m)	NE actual acotado (m)	Caudal anterior (m3/h)	Caudal actual (m3/h)
P1	552751.39	6145742.71	17	61	1,5	16,39	0,61	2,20	4,00
P6	554516.73	6145826.14	29	47	14,7	4,43	24,57	3,50	-
P7	554653.12	6146606.63	21	64	1,00	8,84	12,16	7,00	-
P8	554722.71	6146600.76	24	50	20,00	-	-	12,00	40,00
P8 BIS	554510.37	6146777.61	15	36	-	-	-	-	-
P8 -B	554520.69	6146805.28	13	36	-	-	-	12,00	12,00
PC	552793.44	6145084.13	26	-	-	11,94	14,06	-	-
P11	555424.99	6145946.55	27	40	5,00	9,64	17,36	5,00	-
P16	555455.39	6145512.01	32	47	17,00	29,81	2,19	20,00	20,00
P19	556055.30	6146001.25	25	68	9,00	11,86	13,14	18,00	20,00
P26	556352.04	6146338.29	29	55	16,00	24,41	4,59	17,00	25,00
P27	556264.00	6146210.00	29	44	19,00	26,08	2,92	18,00	16,00
P34	555575.00	6146583.00	25	66	9,50	-	-	4,80	4,50
P41	557315.62	617278.05	16	60	6,00	8,50	7,50	6,00	6,00
P42	557326.82	6147037.70	23	47	8,20	12,21	10,78	9,00	9,00
P48	556748.89	6146837.98	31	60	7,00	-	--	5,00	5,00
P48Bis	55701.67	616562.79	29	-	-	-	-	-	-
P57	555574.61	6147218.69	23	38	23,00	-	-	11,50	-
P59	555127.89	6147232.92	28	47	22,00	-	-	2,00	3,00
P59 A	554884.97	6147819.68	20	53	24,00	-	-	13,00	-
P72	557221.86	6146265.68	36	45	10,00	-	--	3 ,70	-
P75	558125.96	6146056.14	36	45	-	-	--	4,00	12,00
P75BIs	558050.02	6146500.22	33	74	15,00	-	-	4,00	14,00
P76	558040.35	6146176.82	33	61	-	16,31	16,69	5,00	5,00
PF24	556264.54	6146210.48	27	42	12,00	-	-	7,70	9,00

