



# **Estudio Del Impacto De La Actividad Urbana Sobre La Calidad Del Agua Subterránea En La Región Metropolitana**

**Producto 3**

Elaborado por:

**CONSULTORA “LLANURAS DEL ORIENTE”**

**DICIEMBRE  
2022**



**scz**

Gobierno  
Autónomo  
Departamental  
Santa Cruz

## RESUMEN

En el presente informe se procede a brindar un mayor detalle para el análisis de los resultados obtenidos por el análisis de laboratorio con la finalidad de generar tablas y cuadros por cada parámetro con la finalidad de sentar una base de criterios para proceder con el posterior diseño de la Red de Monitoreo permanente. La finalidad de la red de monitoreo tendrá la función principal de evaluar periódicamente la calidad del agua en diferentes puntos de la región metropolitana para determinar si cumplen con los estándares de calidad del agua establecidos.

A través de esta red se podrá ejercer cierto control sobre posibles fuentes de contaminación del agua, ya sea de origen natural o antrópico, con la finalidad de tomar acciones oportunas para su corrección.

La red de monitoreo proporcionará información precisa y actualizada sobre la calidad del agua a las autoridades gubernamentales, para que sean dichas instituciones las que regulen actividades económicas que empleen o generen grandes volúmenes de aguas residuales para de esta manera proveer más responsabilidad para la gestión del agua y que esta información pueda utilizarse para tomar decisiones sobre el uso y la gestión eficiente del agua.

La red de monitoreo podrá establecer una base de datos histórica de la calidad del agua que pueda utilizarse para evaluar la efectividad de las medidas de gestión y conservación del agua.

Ayudar a identificar áreas que requieren mayor atención y esfuerzos de conservación y gestión del agua.

## CONTENIDO

|                                                   |                                      |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|
| RESUMEN EJECUTIVO .....                           | 0                                    |
| 1. INTRODUCCION.....                              | 2                                    |
| 2. ANTECEDENTES .....                             | 11                                   |
| 3. METODOLOGIA DE TRABAJO .....                   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 3.1. Conformación de cada equipo de trabajo ....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 3.2. Metodología de monitoreo en campo .....      | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 3.3. Programa de muestreo y medición ejecutado    | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 3.4. Ensayos de Laboratorio .....                 | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 3.4.1. Parámetros de Laboratorio Analizados ..... | 33                                   |
| 4. INTERPRETACION DE RESULTADOS DEL MONITOREO     | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 5. INTERPRETACION DE RESULTADOS DEL MONITOREO     | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |

# 1. INTRODUCCION

## Aseptos técnicos actuales

El diseño de redes de monitoreo del agua subterránea consiste en establecer un programa de supervisión continua en pozos de muestreo para medir niveles del agua subterránea y tomar muestras para el análisis de variables físicas, químicas y biológicas previamente establecidas.

Este tipo de redes de monitoreo piezométricas y de calidad del agua subterránea son indispensables para conocer el comportamiento de un acuífero, así como sus tendencias de calidad del agua. Esta información es básica para lograr una gestión eficaz y controlar los impactos ambientales negativos de la extracción del agua subterránea y de las cargas de contaminantes.

Sin embargo, se requiere de un alto costo para medir los niveles del agua subterránea, recabar las muestras, y llevar a cabo el análisis de los parámetros de la calidad del agua subterránea en todos los pozos de monitoreo de un acuífero o de alguna zona contaminada. Es por ello que se requiere de un diseño óptimo de redes de monitoreo con las cuales se optimice la selección de los pozos y los tiempos de muestreo (en dónde, cuándo y cuántos pozos muestrear), los cuales proporcionen la mayor información para lograr estimaciones confiables de los parámetros de calidad del agua subterránea y de los niveles del agua subterránea.

En el presente, las redes de monitoreo de aguas subterráneas pertenecientes a entidades gubernamentales o privadas, debido a falta de un sistema de referencia (requerimientos, tipos de datos esenciales, etc.), tienen diversos métodos de recolectar información.

Esto se deriva en un desorden tanto en toma de datos, almacenamiento y difusión originando que la información sufra problemas de inconsistencia o incompatibilidad.

El sistema de monitoreo incluye las siguientes actividades (Musikar, R. 2002, citado por Vargas, N. 2004):

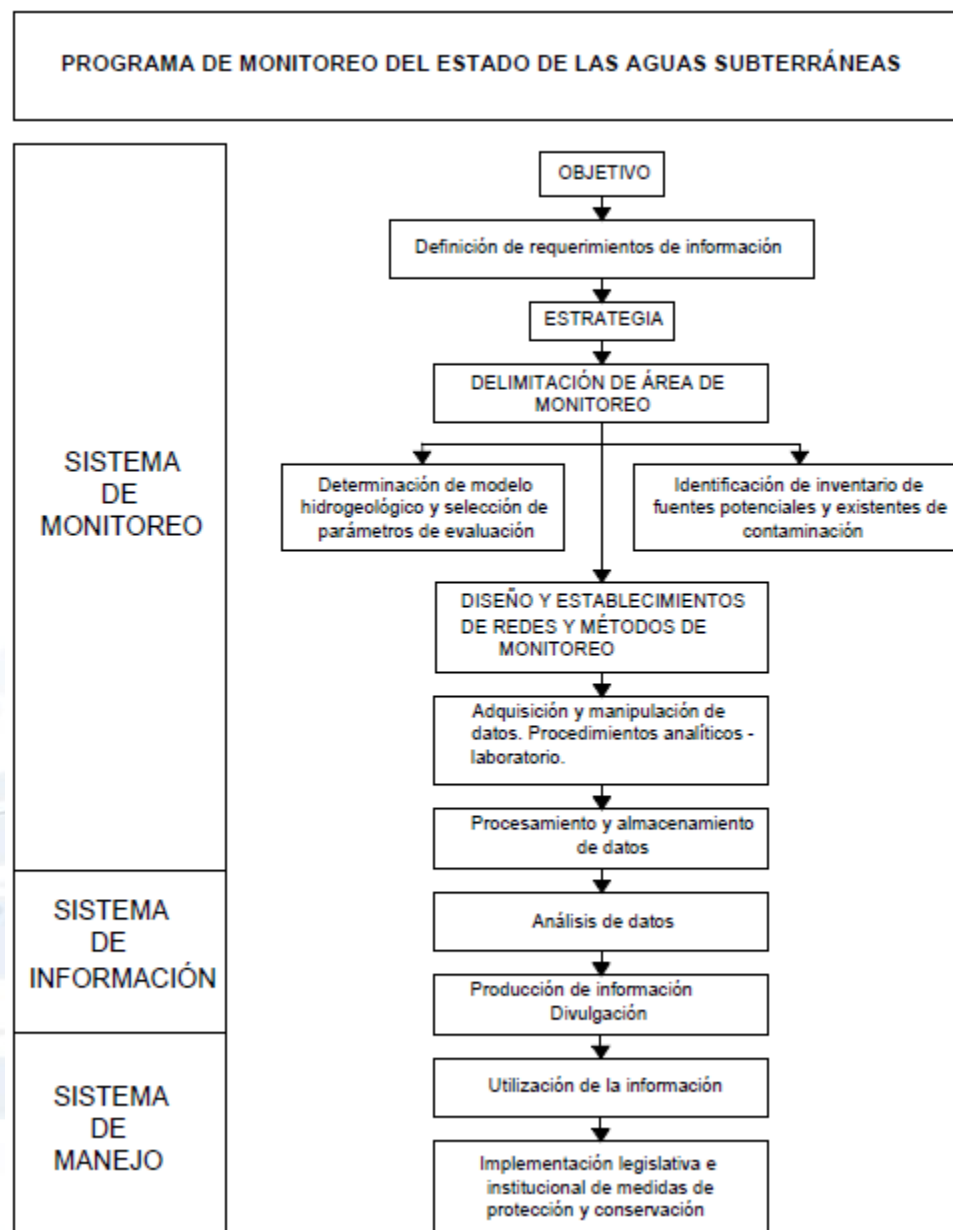
1. Delimitación del área de monitoreo.
2. Análisis de la estructura geológica, el sistema de flujo de aguas subterráneas y la calidad de las aguas subterráneas (modelación conceptual).
3. Diseño de la red de monitoreo.
4. Designación e implementación de métodos de recolección de datos de campo
5. procedimientos analíticos de laboratorio.
6. Determinación de la frecuencia de muestreo y selección de variables a ser analizadas
7. Manejo de la base de datos, especialmente en lo relacionado con manipulación, procesamiento y evaluación de los datos.



El modelamiento conceptual y numérico depende mucho de la cantidad de datos disponibles, y el re-diseño de la red de monitoreo es mutuamente dependiente del análisis de la actual simulación del modelo.

El monitoreo de las aguas subterráneas se realiza en pozos construidos o adecuados para ese fin, los que deben cumplir condiciones técnicas específicas.

El monitoreo de aguas subterráneas, debe incluir los siguientes aspectos: El Sistema de Monitoreo, el Sistema de Información y el Sistema de Manejo de la Información



Fuente: (Vargas, N. 2004)

Por otro lado, para empezar con el diseño inicial de una red de monitoreo de agua subterránea lo óptimo sería tener una línea base de información recolectada de distintos proveedores de, por lo menos, cinco años anteriores al proyecto. (ACWI, 2009)

### **Objetivos de la Redes de Monitoreo**

Básicamente, se busca implementar redes de monitoreo que logren los siguientes puntos esenciales:

- Almacenar mediciones temporales y espaciales de niveles y calidad del agua subterránea y sus cambios relacionados con la actividad humana.
- Analizar las respuestas de dichas mediciones a las variaciones del clima, y
- Predecir los efectos en la disponibilidad del recurso y los cambios en la calidad del agua para las actividades humanas o ecosistemas.

### **Clasificación de Redes**

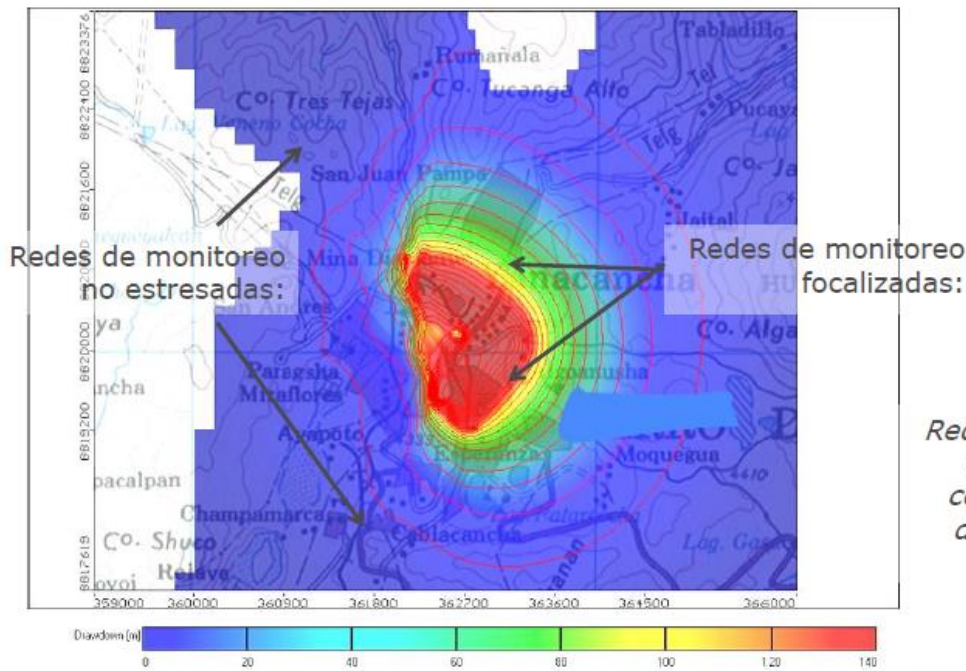
Ciertos sitios o puntos de monitoreo tendrán mayor relevancia respecto de otros con relación al propósito de la política de gestión del agua adoptada o de algún estudio en específico. Dadas estas condiciones, se clasifican en:

#### **Redes de monitoreo no estresadas:**

Se caracterizan por juntar puntos que no están bajo presión constante como por ejm. cuando no hay bombeo a la superficie. En estos puntos no hay mucha probabilidad de variación en las características a medir.

#### **Redes de monitoreo focalizadas:**

Son aquellas que están perturbadas de manera más frecuente, debido normalmente a la manipulación humana. Sus fluctuaciones podrían influir en un cambio en el paisaje o afectar a algún ecosistema existente.



*Redes de monitoreo  
aplicadas para el  
cono de depresión  
de un tajío abierto*

[www.gidahatari.com](http://www.gidahatari.com)

## Categorías de Monitoreo

No se medirán todos los puntos de una red de monitoreo (sea no estresada o focalizada) con la misma frecuencia.

Esto es debido a que hay sitios que representan mejor la muestra a estudiar; por lo que según el uso que se les dé dentro de la red de monitoreo se clasifican en:

### Monitoreo de vigilancia:

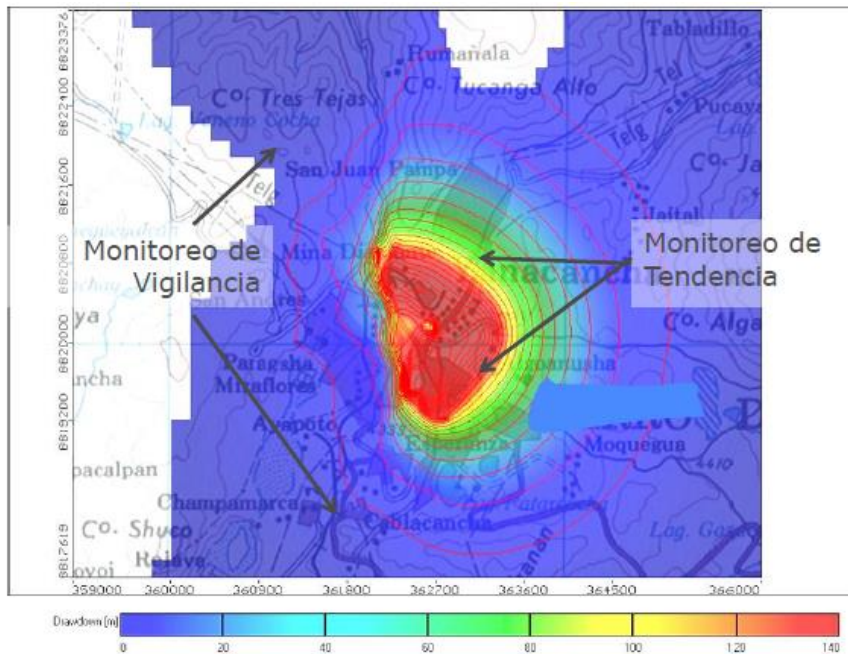
Es aplicado a puntos de menor importancia para la red, por lo que su frecuencia de monitoreo será menor, y solo se hará para verificar que no haya cambios bruscos en los parámetros medidos que evidencien que algún agente está influyendo de manera importante en el acuífero

### Monitoreo de tendencia:

Se aplica para puntos que tienen una mayor relevancia para la red y que representan mejor sus características generales. Se toman para predecir los cambios futuros que tendrá el acuífero, es decir, estos puntos son los que marcan la tendencia en la evolución en el tiempo del cuerpo de agua.

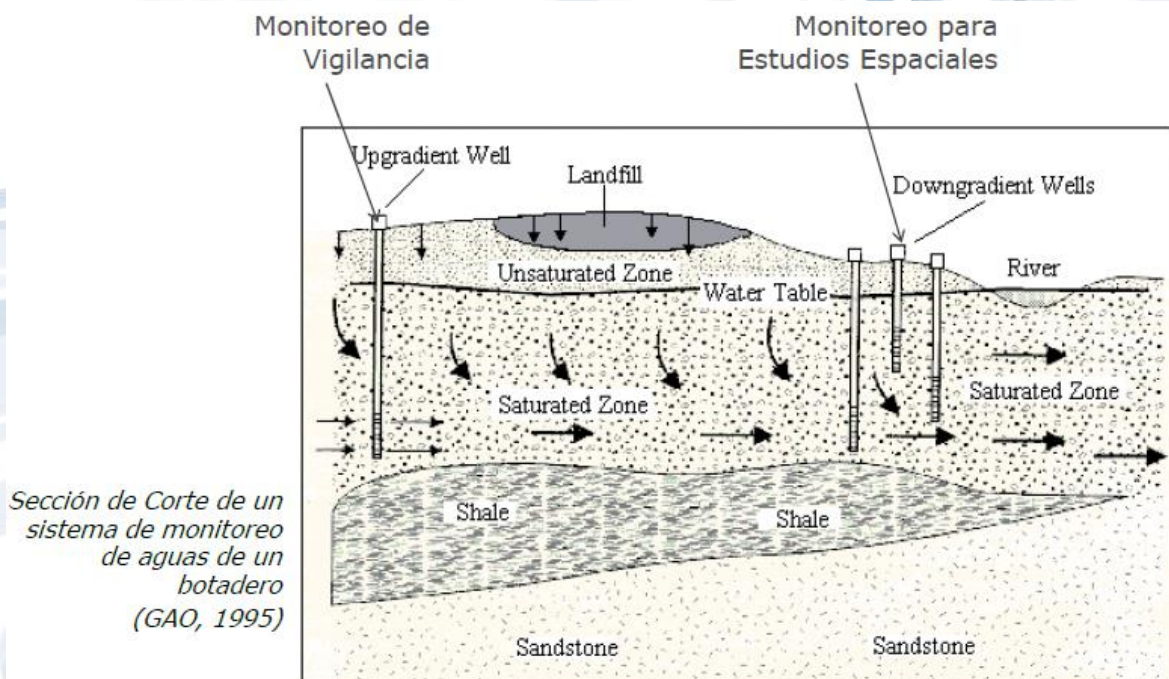
### Monitoreo para estudios especiales:

Prácticamente sólo se aplica a redes de monitoreo focalizadas, y, como se puede inferir del nombre, sirve para fines especializados en los que se requiere una mayor densidad de puntos en base al objetivo. Este tipo de redes se aplica para la evaluación de filtraciones



*Redes de monitoreo aplicadas para el cono de depresión de un tajo abierto*

[www.gidahatari.com](http://www.gidahatari.com)



*Sección de Corte de un sistema de monitoreo de aguas de un botadero (GAO, 1995)*



## Recolección de Datos

Un buen muestreo de datos es la mejor plataforma para poder obtener una buena base con la cual modelar y predecir los cambios presentes y futuros a corto y largo plazo de acuíferos o sistemas de acuíferos.

Cualquier método utilizado para la toma de datos es válido siempre y cuando tenga el respaldo de una institución reconocida que avale el procedimiento a utilizar, y que se tomen las precauciones para una recolección de datos adecuada.

Existen tres aspectos importantes a considerar en la fase de recolección de datos: Cantidad de datos, Distribución de puntos, Frecuencia de monitoreo

### Cantidad de datos:

La cantidad de datos estará determinada por factores que dependen del parámetro a tomar. Estos referentes son:

#### a) Calidad del agua:

Algunos especialistas apuntan hacia la cantidad mínima exigida para lograr una distribución NORMAL estadística, es decir, tener un mínimo de 30 datos independientemente del área analizada (muchos puntos para áreas pequeñas).

Sin embargo, otros plantean un ratio de un pozo medido por cada 100 km<sup>2</sup> (pocos puntos para áreas grandes).

#### b) Medición de niveles:

No hay un dato exacto, pero algunos expertos consideran que debe de estar en un rango entre 2 a 100 pozos medidos cada 1000 km<sup>2</sup>.

Para cualquiera de los dos tipos, se considera una distribución bidimensional de los puntos (puntos por m<sup>2</sup>). Sin embargo, ciertos cuerpos de agua pueden variar considerablemente sus características según su profundidad, por lo que se puede ajustar el monitoreo a una toma de datos que incluya esta tercera dimensión.

Aunque según la Agencia Europea de Medio Ambiente, para acuíferos sobreexplotados (como sería el caso del acuífero metropolitano), en el cual, los niveles piezométricos poseen una tendencia temporal sostenida a la disminución, debería considerarse lo recomendado por la Agencia Europea, a saber:

### Recomendación de densidad de monitoreo (km<sup>2</sup>/punto) en acuíferos

| Condición del acuífero |                | Óptima       | Regular         | Deficiente  |
|------------------------|----------------|--------------|-----------------|-------------|
| Sin intrusión salina   | Sobreexplotada | Menor a 25*  | Entre 25 y 150  | Mayor a 150 |
|                        | Sustentable    | Menor a 100* | Entre 100 y 200 | Mayor a 200 |
| Con intrusión salina   | Sobreexplotada | Menor a 5**  | Entre 5 y 15    | Mayor a 15  |
|                        | Sustentable    | Menor a 10** | Entre 10 y 20   | Mayor a 20  |

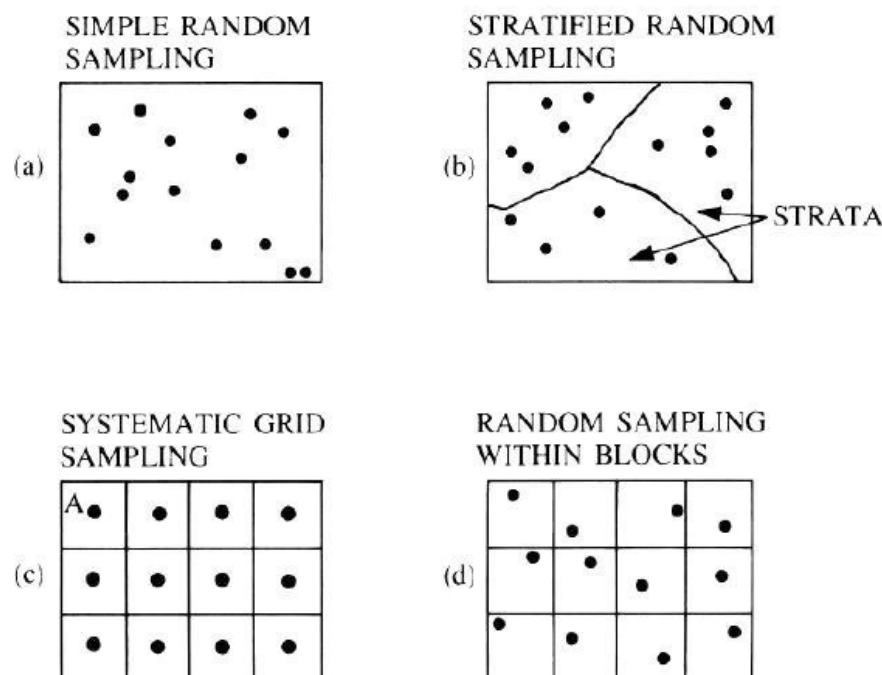
Fuente: Criterios para la Implementación de Redes de Monitoreo de Aguas Subterráneas” División de Estudios y Planificación del Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile-2019, basado en lo establecido por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA)

### Distribución de puntos:

Según el análisis de variabilidad de Alley (1993), se recomienda usar una distribución estratificada y con separación por bloques en mallas, es decir, los tipos (b) y (d) de la imagen mostrada. La primera distribución asegura que se tomen puntos en todos los estratos de la región analizada, ya que cada uno posee propiedades diferentes.

La segunda distribución asegura que el muestreo sea mucho más uniforme, logrando que los puntos tomados tengan la separación suficiente que garantice dicha cualidad, lógicamente siempre aplicando una óptica realista donde se tome en cuenta todas las limitaciones que ocasionan que no se logre equidistancia entre los puntos estudiados.

Distribución de puntos:



**Frecuencia de monitoreo:**

La frecuencia de monitoreo está íntimamente ligada a la importancia que tiene el punto en cuestión para la red de monitoreo.

Una red de monitoreo focalizada tendrá mucha más recurrencia de mediciones que una no estresada

***Una red de monitoreo de tendencia tendrá una mayor frecuencia de monitoreo que una de vigilancia.***

Por supuesto, una de estudios especiales, tendrá mayor recurrencia todavía que las dos anteriores.

Para determinar la frecuencia de muestreo de un punto en particular no se puede solo ver a ciegas la relevancia que tiene para la red independientemente del análisis de las características que definen su naturaleza.

También se tienen que ver otros parámetros como su nivel de confinamiento, su conductividad hidráulica, las características del flujo (si fluye por un medio poroso o roca fracturada) o su profundidad.

| Measurement Type                                            | Aquifer Type                                                             | Flow Characteristics        |                             |                             |                             |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                                             |                                                                          | Porous Medium               | Porous Medium               | Fractured Rock              | Karst                       |
|                                                             |                                                                          | Deep Well                   | Shallow Well                | All Wells                   | All Wells                   |
| Baseline Measurements: Standard and extended list as needed | Unconfined                                                               | Quarterly to twice per year | Quarterly to twice per year | Quarterly to twice per year | Quarterly to twice per year |
|                                                             | Confined                                                                 | Twice per year              | Twice per year              | Twice per year              | Twice per year              |
| Surveillance Measurements: Core analytes                    | Unconfined                                                               |                             |                             |                             |                             |
|                                                             | "low" hydraulic conductivity (<200 ft/d),<br>"low" recharge (<5 in/yr)   | Annual                      | Annual                      | Annual                      | Twice per year              |
|                                                             | "high" hydraulic conductivity (>200 ft/d),<br>"high" recharge (>5 in/yr) | Annual                      | Twice per year              | Twice per year              | Twice per year              |
|                                                             | Confined                                                                 |                             |                             |                             |                             |
|                                                             | "low" hydraulic conductivity (<200 ft/d),<br>"low" recharge (<5 in/yr)   | Every 5 years               | Every 5 years               | Every 5 years               | Every 5 years               |
|                                                             | "high" hydraulic conductivity (>200 ft/d),<br>"high" recharge (>5 in/yr) | Every 2 years               | Every 2 years               | Every 2 years               | Every 2 years               |
| Data made available to the NGWMN                            |                                                                          | Annually                    | Annually                    | Annually                    | Annually                    |
| Surveillance Measurements: Additional analytes              | All aquifer types throughout range of hydraulic conductivity             | Every 5 years               | Every 5 years               | Every 5 years               | Every 5 years               |
| Data made available to the NGWMN                            |                                                                          | Every 5 years               | Every 5 years               | Every 5 years               | Every 5 years               |

Fuente: [www.gidahatari.com](http://www.gidahatari.com)

## Niveles de Evaluación

Para tener un mejor orden sobre las prioridades de la red de monitoreo de agua subterránea y en aras de generar una mejor versatilidad en las respuestas al momento de atender las diversas inquietudes o problemas propuestos, nace la necesidad de fijar una escala en las evaluaciones que se podrían plantear.

Los tipos de evaluaciones de las aguas subterráneas son clasificados en:

- Evaluaciones de nivel I
- Evaluaciones de nivel II

### Evaluaciones de nivel I

La información esencial y necesaria para llegar a la respuesta recae en la recolectada por la red de monitoreo. Se subdivide en:

#### Evaluaciones de nivel IA:

Son aquellas que se pueden responder teniendo como única información todos los datos recolectados en la red de monitoreo de aguas subterráneas. Ejm: ¿Cómo variarán los niveles de agua en el tiempo?

#### Evaluaciones de nivel 1B:

Necesitan cierta información adicional para ser respondidas tal como información de bombeo, uso de la tierra, climatología, etc. que sirven como complemento a los datos obtenidos del monitoreo realizado. Ejm: ¿Cómo afecta la variabilidad del clima a los recursos de aguas subterráneas?

### Evaluaciones de nivel II

Van más allá del alcance directo del programa de monitoreo y necesitan de información suplementaria para responder preguntas más complejas. Normalmente se conectan con otras redes de monitoreo como las de agua superficial e incluso necesitan información de otros campos como economía, derecho, etc.

Ejm: ¿Cuál es el valor económico de los recursos de aguas subterráneas hoy y en el futuro?

## Intercambio de Información

Para que el sistema de monitoreo de aguas subterráneas sea eficiente, se debe diseñar un portal web que entre sus funciones primordiales pueda:

- Permitir a los usuarios bajar información libremente para el propósito que crean conveniente
- Facilitar, básicamente debido a que recolectar una buena base de datos de información hidrológica demanda bastante tiempo e inversión, que los propietarios

o proveedores poseedores de estos tipos de datos puedan compartirlos con el servidor, logrando una especie de recuperación de información antes perdida.

Así, el portal sería un medio dinámico por el cual se podría intercambiar información rápidamente y en el cual se reunirían esfuerzos para mejorar la calidad y cantidad de la información proporcionada por las redes de monitoreo.

## 2. ANTECEDENTES

Bolivia a través de ley 1333, adoptó implícitamente la definición de desarrollo sostenible del Informe Brundtland (1987) y estableció como su objetivo “La protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población”.

El Dpto. de Santa Cruz como motor del desarrollo económico, industrial y agroindustrial del país y con el mayor crecimiento demográfico, recibe una fuerte presión sobre los ecosistemas, efectos que derivan en problemas como la erosión, la desertización, la degradación de los suelos, la deforestación, la pérdida de la diversidad biológica, y la contaminación del aire, agua tanto superficial como subterránea y suelos, generando como resultado, pobreza y marginalidad.

En este contexto, uno de los recursos naturales que ha sufrido y viene sufriendo un gran impacto tanto por su uso irracional e indiscriminado como por su degradación en cuanto a su calidad se refiere, es el agua.

Al hablar del agua, no solo nos estamos refiriendo al agua superficial de ríos, arroyos, manantiales y lagunas que están en franco proceso de degradación afectados por actividades agrícolas y pecuarias, industriales, mineras, petroleras, de servicios, entre otras, y que resultado de esta degradación que no tiene control por parte de los Municipios principalmente, la intervención del Estado Central, ha derivado en la generación de Auditorias que han evidenciado la falta de cumplimiento de las funciones que deben cumplir estas instancias para el control de la calidad de las aguas superficiales. Sin embargo, también debemos referirnos al recurso Agua Subterránea que es el recurso invisible y que poca importancia se le da debido a esa invisibilidad mencionada, pero que, sin embargo, día a día está siendo sometido a una explotación irracional y no controlada, lo cual está logrando su degradación no solo en calidad si no en cantidad.

Es así que, esta problemática del agua subterránea, tiene preocupado principalmente a las Cooperativas de Agua que dan servicio de agua potable a la mayoría de las poblaciones de nuestro departamento, que como ya se mencionó, viene siendo degradada en su calidad de igual forma que las aguas de nuestros ríos por diferentes actividades como: domesticas, agrícolas y pecuarias, industriales, mineras, petroleras, de servicios, entre otras, a la cual se le da poca importancia debido a que este recurso se encuentran en el subsuelo y como no es visible a simple vista, como es el caso de ríos por ejemplo, no genera la preocupación de nuestras autoridades, ni de la población.

Sin embargo, a lo anterior, existieron algunos esfuerzos para poder estudiar a nuestras aguas subterráneas que los mencionamos a continuación:

- Primer estudio de importancia en relación a la temática de las aguas subterráneas fue realizado en 1994/1997 por el British Geological Survey, Hydrogeology Group” encargado por Saguapac. A través de este estudio, se determina que la calidad de nuestras aguas subterráneas estaba en deterioro y que la contaminación afectaba a los acuíferos someros llegando aproximadamente a los 40 a 50 m.
- El año 2000, se elabora el estudio sobre las fuentes de aguas subterráneas denominado “Evaluación del manejo actual y futuro de las fuentes de aguas subterráneas en Santa Cruz – Bolivia” fue realizado por la consultora mercado Consultants, Hydrogeology & Environmental Quality, fuente: Plot Santa Cruz. Este estudio muestra como resultado que debido a la explotación y uso indiscriminado que viene sufriendo el agua subterránea, se podría sufrir deficiencias en la dotación a partir del año 2022.
- El 2003, la Prefectura del Dpto. de Santa Cruz, elabora el estudio denominado “Estudio para la Clasificación de la Contaminación de las Aguas Subterráneas– fase I”. (entre el 3° y 5° anillo de Santa Cruz de la Sierra
- El año 2006, se ejecuta el estudio “Estudio para la Clasificación de la Contaminación de las Aguas Subterráneas– fase II”, incluyéndose los municipios de La Guardia, Cotoca y el área comprendida entre el 5° anillo y la periferia de Santa Cruz de la Sierra.
- El año 2007, se continúa el estudio con los municipios de El Torno, Porongo, Warnes y Montero. elaborándose en base a toda esta información, el “Estudio de Factibilidad para la Implementación y Operación de una Red de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Subterráneas” en toda el área de estudio”.
- El año 2009, se consigue el financiamiento de la Prefectura para ejecutar, la “Implementación de la Red de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Subterráneas” que incorpora las principales ciudades de los municipios de: El Torno, Porongo, La Guardia, Santa Cruz de la Sierra, Cotoca, Warnes y Montero y cuyo objetivo planteado era: Generar y disponer de información permanente, actualizada y oportuna relacionada a la calidad y cantidad de las aguas subterráneas mediante el monitoreo de pozos de explotación y de observación (monitoreo) ubicados en los municipios del Depto. de Santa Cruz, contando con datos periódicos que permitan establecer alertas tempranas para precautelar la calidad de este recurso, proteger la salud de las personas, el medio ambiente, y poder planificar el uso sostenible en el marco de la “Política Departamental para el manejo integral de los recursos hídricos”.
- El año 2010, Se realizó un estudio de identificación de probables fuentes de contaminación de aguas subterráneas en 7 municipios, se realizó un trabajo de complementación de información técnica de los pozos de la Red, se trabajó con el Ing, Akira Miyajima en un estudio hidroquímico de las aguas del río Pirai y aguas subterráneas en el área de influencia de la Cuenca del río Pirai, Se recepcionó por parte de la DDT de la Gobernación, el Sistema de Información para el Monitoreo y Control de la Calidad de las Aguas (SIMCA).
- El año 2011, se logró el contacto y coordinación con los diferentes actores, definiendo responsabilidades de apoyo al proyecto (Municipios, cooperativas, laboratorio y otros) para lo cual se definió establecer un acuerdo de cooperación interinstitucional para la operación de la Red desde el 2012 al 2015.
- Se logró avanzar en el procesamiento de la información en el SIMCA en base a un mantenimiento realizado durante todo el año.

- El año 2012, se tuvieron logros importantes en el avance del control de la calidad de las aguas subterráneas en el departamento de Santa Cruz como ser: se logró la firma de Acuerdos de Cooperación Interinstitucional con 13 Cooperativas de Agua y algunas empresas privadas de 7 municipios para la Implementación y Operación de la Red de Monitoreo de Calidad de Aguas Subterráneas por el periodo 2012-2015 que hasta ese entonces contaba con 84 pozos en 15 municipios.
- A partir del 2016, el monitoreo de aguas subterráneas sufrió una pausa, la cual fue retomada en estos últimos años.
- Para el 2022, el Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz, lleva adelante el estudio denominado “Estudio del Impacto de la Actividad Urbana sobre la Calidad del Agua Subterránea en la Región Metropolitana de Santa Cruz”, el cual tiene entre sus objetivos, precisamente el de “Proponer una red de monitoreo permanente, para evaluar la calidad del agua de manera periódica, que permita desarrollar una plataforma con indicadores que contribuyan a la planificación dentro de la región metropolitana, basados en la información generada y analizada en la campaña de monitoreo”.

### **OBJETIVO DEL PRODUCTO 3:**

Proponer una red de monitoreo permanente, para evaluar la calidad del agua de manera periódica, que permita desarrollar una plataforma con indicadores que contribuyan a la planificación dentro de la Región Metropolitana, basados en la información generada y analizada en la campaña de monitoreo.

### **JUSTIFICACION PARA LA IMPLEMENTACION Y OPERACIÓN DE LA RED DE MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS**

- Exigencia del marco legal vigente (Ley 1333 y su Reglamentación), que otorga a la Gobernación en su Calidad de Autoridad Ambiental Competente Departamental, esta atribución.
- La urgente necesidad que tiene la Región Metropolitana, de monitorear y controlar permanentemente tanto los niveles y la calidad del agua subterránea en el acuífero metropolitano, que proporcionen información periódica y oportuna sobre el estado actual de nuestras aguas subterráneas para poder planificar su protección y explotación racional y sostenible

### **PROPUESTA DE LA RED DE MONITOREO PERMANENTE**

#### **a) Delimitación del área de monitoreo**

El área de monitoreo está circunscrita al área definida en los TDRs y es el espacio geográfico determinado por la Región Metropolitana, es decir por el espacio geográfico de la jurisdicción territorial de los municipios de:

- EL Torno



- La Guardia
- Porongo
- Santa Cruz de la Sierra
- Cotoca
- Warnes

Por supuesto, el monitoreo solo deberá abarcar la actual área urbanizada y el área de posible expansión urbana a futuro.

En ese sentido, un análisis sobre la superficie de estos municipios indica lo siguiente;

#### Superficie de cada municipio metropolitano

| MUNICIPIO               | SUPERFICIE TOTAL<br>(Km2) |
|-------------------------|---------------------------|
| El Torno                | 948                       |
| La Guardia              | 980                       |
| Porongo                 | 930                       |
| Santa Cruz de la Sierra | 1337                      |
| Cotoca                  | 621                       |
| Warnes                  | 1447                      |
| <b>TOTAL</b>            | <b>6263</b>               |

Fuente: VPEPP- INE- 2012

Siendo la superficie actualmente urbanizada y la superficie con expansión urbana futura la siguiente:

#### Superficie actualmente urbanizada

| MUNICIPIO               | SUPERFICIE URBANA ACTUAL<br>(Km2) |
|-------------------------|-----------------------------------|
| El Torno                | 27                                |
| La Guardia              | 82                                |
| Porongo                 | 8                                 |
| Santa Cruz de la Sierra | 396                               |
| Cotoca                  | 27                                |
| Warnes                  | 71                                |
| <b>TOTAL</b>            | <b>611</b>                        |

Fuente: Elaboración propia

#### b) Análisis de la estructura geológica, el sistema de flujo de aguas subterráneas y la calidad de las aguas subterráneas (modelación conceptual)

El área de estudio está situada dentro de la unidad fisiográfica denominada llanura chaco-beniana (denominada llanura cruceña), Esta área se extiende desde el límite sur de la provincia de Guarayos hasta el río Parapetí en el sur. Está limitada al este por el río San Julián y la serranía de San José de Chiquitos, al oeste por el pie de monte sub-andino y al sur-este por los cerros aislados del alto Paragua. Esta región



comprende las zonas de la TCO Kaa-lyá, bañados de Izozog y las zonas integradas del norte, así como las zonas de expansión agrícola norte y este de Santa Cruz.

Es de conocimiento popular que el área metropolitana de Santa Cruz tiene un gran potencial de aguas subterráneas, pero el conocimiento técnico y la información específica sobre este asunto son limitados. Es preciso establecer los siguientes conceptos:

- Una relación de las definiciones hidrogeológicas que ayudan al lector a entender el estudio de las aguas subterráneas.
- Una descripción de las condiciones geológicas, fisiográficas y geomorfológicas que definen las condiciones de los depósitos de agua subterráneos (acuíferos) de la región. Se muestra los perfiles litológicos de los pozos, la correlación litológica, la ubicación de la red de pozos de agua a través de mapas, y cortes geológicos estructurales del subsuelo que muestran la configuración por debajo de la superficie del terreno hasta los 2.400 m.
- Se hace un análisis de los probables niveles de agua estática en la región de estudio, y se muestra la dirección del flujo subterráneo.
- En el Anexo se incluye un cuadro en el que se da la ubicación de la red de pozos, su caudal de producción, su nivel estático y dinámico, el tipo de tuberías y filtros empleados en los pozos, y sus fechas de construcción.

### ***Definiciones Hidrogeológicas***

Para entender los procesos del sistema de aguas subterráneas es preciso definir la terminología utilizada en este documento. Aquí presentamos la descripción de dicha terminología y algunos conceptos generales sobre el estudio de las aguas subterráneas.

**Acuífero:** Una unidad geológica que tiene la capacidad de almacenar y transmitir suficiente agua para proveer cantidades razonables a los pozos para consumo humano o agrícola (por ejemplo arenas, gravas, piedras areniscas, rocas calcáreas y dolomías, basaltos y rocas ígneas y metamórficas fracturadas).

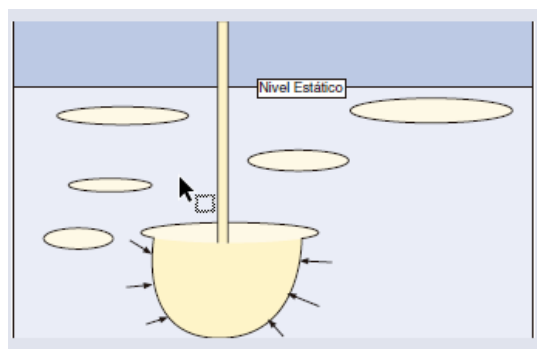
**Capas confinadora:** Una unidad geológica que tiene poco o nada de permeabilidad intrínseca (menos que 10 micro Darcys, md), como por ejemplo: arcillas pesadas, sales y rocas ígneas y metamórficas no fracturadas, o sea, una camada que impide el movimiento de agua.

El agua subterránea se encuentra en los acuíferos en tres diferentes condiciones; según éstas hablamos de acuíferos confinados, acuíferos libres y acuíferos semi confinados. Acuíferos confinados son aquellos que se encuentran debajo de una camada confinadora formada de materiales como arcillas o rocas. Un acuífero libre carece de confinación por una camada impermeable y permite la infiltración directa de agua de la superficie. Los acuíferos semi-confinados son aquellos que tienen un cierto nivel de confinación, pero permiten la recarga de agua por infiltración superficial. Por ejemplo, las capas de materiales tales como los limos no impiden completamente el paso vertical del agua; un sistema así se denomina semi-confinado (Figura 1.) Estos acuíferos semiconfinados todavía pueden recibir una recarga vertical, pero a un ritmo muy inferior que los acuíferos libres, y esto es significativo en términos de la sostenibilidad del acuífero a largo plazo. Los acuíferos libres son a menudo de poca profundidad y se encuentran con frecuencia sobre uno o más

acuíferos confinados. Los acuíferos libres también se llaman “acuíferos de nivel freático” y se recargan directamente por la precipitación.

Los acuíferos confinados se presentan en profundidades considerables y generalmente cubren otros acuíferos confinados. Se recargan a menudo por grietas o por aberturas en las capas impermeables que se encuentran sobre o debajo de ellos. Los acuíferos confinados en formaciones geológicas complejas pueden estar expuestos en la superficie de la tierra y pueden recargarse directamente por infiltraciones de las lluvias. Los acuíferos confinados también pueden recibir la recarga de un área adyacente alta, por ejemplo una montaña. El agua que se infiltra por la roca fracturada de las montañas puede fluir hacia abajo y después moverse lateralmente en los acuíferos confinados.

**FIGURA 1.- POZO EN ÁREA DE UN ACUÍFERO LIBRE O CONFINADO**



*Fuente: Anónimo WEB*

El nivel del agua de un acuífero confinado no sube ni baja libremente porque es confinado por la camada (que actúa como una tapa). La confinación causa presurización en el agua. En algunos casos, la presión de un acuífero confinado es suficiente para echar un chorro de agua varios metros sobre la superficie de la tierra, una vez abierto el pozo. Tales pozos se llaman: pozos artesianos que fluyen, o surgentes. Los acuíferos confinados también se llaman a veces “acuíferos artesianos”.

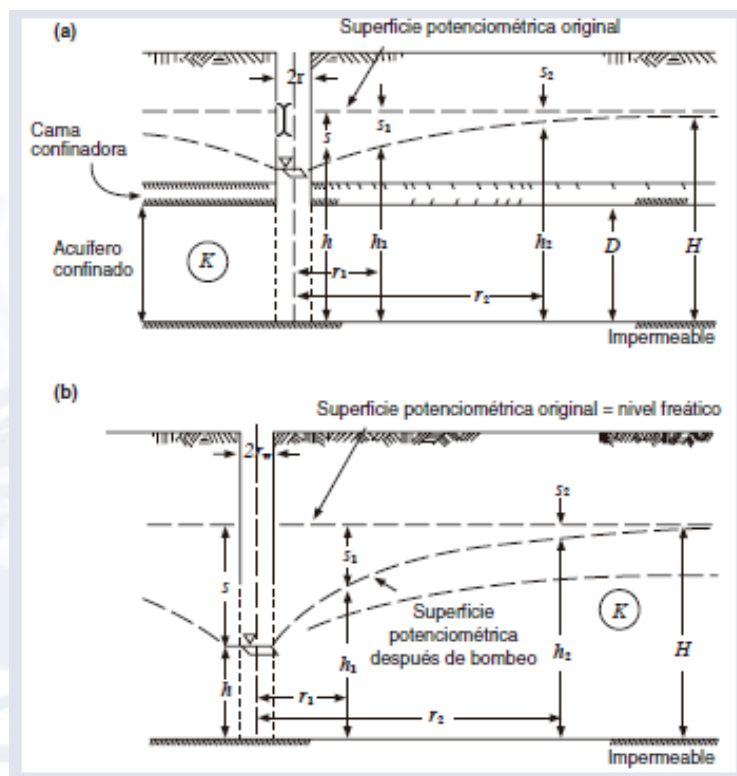
Cuando un pozo se perfora en un acuífero libre, su nivel del agua llega generalmente al mismo nivel que el de la superficie del acuífero. Esto es, en la mayoría de los casos, al nivel freático. En contraste, cuando un pozo se perfora en un acuífero confinado, el nivel del agua puede llegar a una cierta altura sobre el nivel freático y quizás incluso sobre la superficie de tierra, según cuán presurizada esté el agua. Si una cantidad de pozos se perfora en un acuífero confinado, el nivel del agua se elevará en cada pozo hasta cierto nivel. Estos niveles de los pozos forman en conjunto una superficie imaginaria llamada superficie potenciométrica o piezométrica, como muestra la Figura 2. La superficie potenciométrica es para un acuífero confinado lo que el nivel freático es para un acuífero libre. O sea, indica a qué nivel llegaría la superficie de un acuífero confinado si la cama que lo confina fuera removida.

Cuando se bombea agua de un pozo, el nivel del agua en el pozo disminuye y ocurre lo que se llama un cono de depresión (ver Figura 2). El tamaño y la influencia de este cono de depresión dependen de las características del bombeo, del pozo y del tipo de acuífero.

Los acuíferos más productivos, confinados o libres, están generalmente en depósitos de arena y de grava, porque éstos suelen tener espacios vacíos grandes (porosidad) para contener el agua. Las rocas con aberturas grandes tales como cavidades o fracturas también pueden ser acuíferos altamente productivos. Generalmente, cuanto más pequeño es el tamaño del grano de los depósitos de grava y arena, o menor la fractura de las rocas, menos agua producirá el acuífero, porque habrá pocos espacios vacíos que puedan contener el agua.

La porosidad de un acuífero también tiene influencia en su capacidad de transmitir agua. La porosidad es una medida de la cantidad de espacio que hay en un acuífero. Típicamente, las arcillas y las gravas tienen altas porosidades, mientras que los suelos francos, las arenas, y las mezclas de diversos tamaños de grano tienen porosidades bajas. En general, las arenas y las gravas transmiten fácilmente el agua y tienen altas conductividades hidráulicas (en la gama de 50-1000 m/día). Los suelos francos y las arcillas transmiten el agua mal y tienen conductividades hidráulicas bajas (en la gama de 0.001-0.1m/día).

**FIGURA 2 .- GEOMETRÍA Y SÍMBOLOS DE BOMBEO EN POZOS MOSTRANDO LOS CONOS DE DEPRESIÓN Y NIVELES POTENCIOMÉTRICOS**



Fuente. (a) acuífero confinado y (b) acuífero libre. Fuente: H. Bouwer, *Groundwater Hydrology*, New York: McGraw-Hill, 1978.

La velocidad con la cual el agua viaja a través de un acuífero es proporcional a la conductividad hidráulica y al gradiente hidráulico, y proporcionalmente inversa a la porosidad. De estos tres factores, la conductividad hidráulica tiene generalmente un efecto mayor sobre la velocidad. Así, los acuíferos con altas conductividades hidráulicas, tales

como depósitos de arena y de grava, generalmente transmiten agua más rápidamente que los acuíferos con conductividades hidráulicas más bajas, tales como los acuíferos con capas de limos o de arcillas.

Sin embargo, flujos rápidos pueden ocurrir en rocas con cavidades o en rocas fracturadas. Los sistemas de agua subterránea son dinámicos: el agua está continuamente en movimiento desde las áreas de recarga a las áreas de descarga. En sistemas con acuíferos grandes, centenares de años pueden transcurrir para el paso del agua a través de la parte subterránea del ciclo hidrológico (Figura 3.) Los caudales no exceden algunos metros por día, muy pobres comparados con los caudales de hasta más de un metro por segundo con que fluyen los ríos. Sin embargo, las velocidades pueden ser mucho más altas allí donde el agua fluye a través de sistemas geológicos con fracturas. Las velocidades dependen de factores como la densidad de la red de la abertura o de las fracturas. En piedra caliza fracturada las velocidades también pueden ser mucho más rápidas. Por esta razón, en un único pozo se puede obtener agua que reside subterráneamente en diferentes cantidades de tiempo, o sea aguas con un tiempo de residencia diverso. Este es un factor importante que tomar en cuenta cuando se piensa en la degradación de los contaminantes y en el control de los microorganismos que causan enfermedades, tales como algunas bacterias, virus y protozoos (Foster e Hirata, 1998).

### **Escalas de Tiempo:**

Los sistemas de aguas subterráneas requieren un gran tiempo para la renovación de las aguas, esto porque el agua requiere muchos años para moverse a lo largo del suelo y de la zona no saturada del acuífero. El agua puede tomar periodos de algunas decenas o centenares de años para lograr llegar hasta la alimentación de un pozo. Incluso en algunos pozos de mayor profundidad, podrían llegar a demorar miles de años.

FIGURA 3.- SISTEMA DE FLUJOS EN ACUÍFEROS



Fuente: Servicio Geológico de los EE.UU.

## Recarga del agua Subterránea en áreas Urbanas

En los depósitos aluviales de Santa Cruz, con una moderada a alta permeabilidad y un considerable volumen de agua residual y agua de lluvia son descargadas a la tierra. Sin embargo, parte de la ciudad cuenta con alcantarillado sanitario, lo que permite descargar las aguas residuales con tratamiento al río Piraí. En el siguiente cuadro se muestra que Santa Cruz un incremento de la recarga del agua subterránea por los 170%.

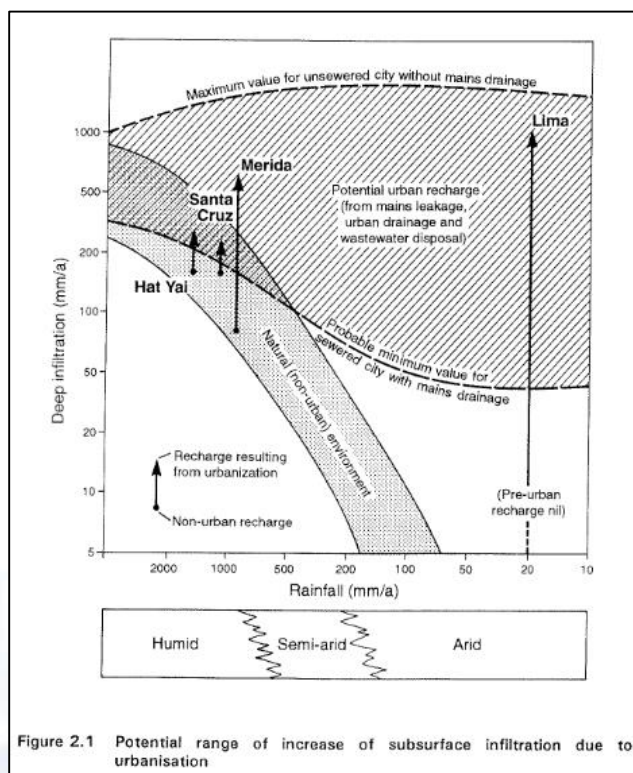


Table 2.1 Modification to urban recharge for three cities studied

| City       | Population Density (cap/ha) | Rainfall (mm/a) | Pre-urban Recharge (mm/a) | Urban Recharge (mm/a) | Increase in Recharge due to Urbanisation (%) | Major Sources of Urban Recharge                                                 |
|------------|-----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| MERIDA     | 35                          | 1000            | 100                       | 600                   | 600                                          | (a) leaking water mains<br>(b) on-site sanitation<br>(c) pluvial drainage       |
| SANTA CRUZ | 45                          | 1200            | 170                       | 260-290*              | 150-170                                      | (a) leaking water mains<br>(b) on-site sanitation<br>(c) pluvial drainage       |
| HAT YAI    | 140                         | 1900            | c. 180                    | 240*                  | 130                                          | (a) leaking water mains<br>(b) wastewater and urban drainage disposal to ground |

\* does not include induced leakage from surface water courses

La ciudad de Santa Cruz la extracción del agua se hace de acuífero aluvial sem-confinado. Del análisis de las fuentes subterráneas de agua potable para Santa Cruz Metropolitana,



observamos que la explotación actual (2011) genera una explotación de 651 (mm/año) o  $104.1 \times 10^6$  (m<sup>3</sup>/año) sobre un área de 64,000 (Ha), y generará 1,340 (mm/año) o  $214.4 \times 10^6$  (m<sup>3</sup>/año) para el año 2036. La capacidad de infiltración del agua de lluvia, en el área urbana, sería de 557 (mm/año) y en las zonas no urbanizadas o naturales de 1,857 (mm/año). Lo que implica que estaríamos entrando en un periodo de déficit respecto de las precipitaciones locales. Fuente Plan Maestro Metropolitano.

Sin embargo se dispone también de la infiltración de los ríos Pirá y Grande en una magnitud mínima anual de Pirá =  $639.2 \times 10^6$  (m<sup>3</sup>/año) y Grande  $1,055.4 \times 10^6$  (m<sup>3</sup>/año). Lo que actualmente sobrepasa a la magnitud de explotación, evitando el déficit en el Balance Hídrico Global. La ciudad tiene un desarrollo relativamente bueno en cobertura de abastecimiento de agua.

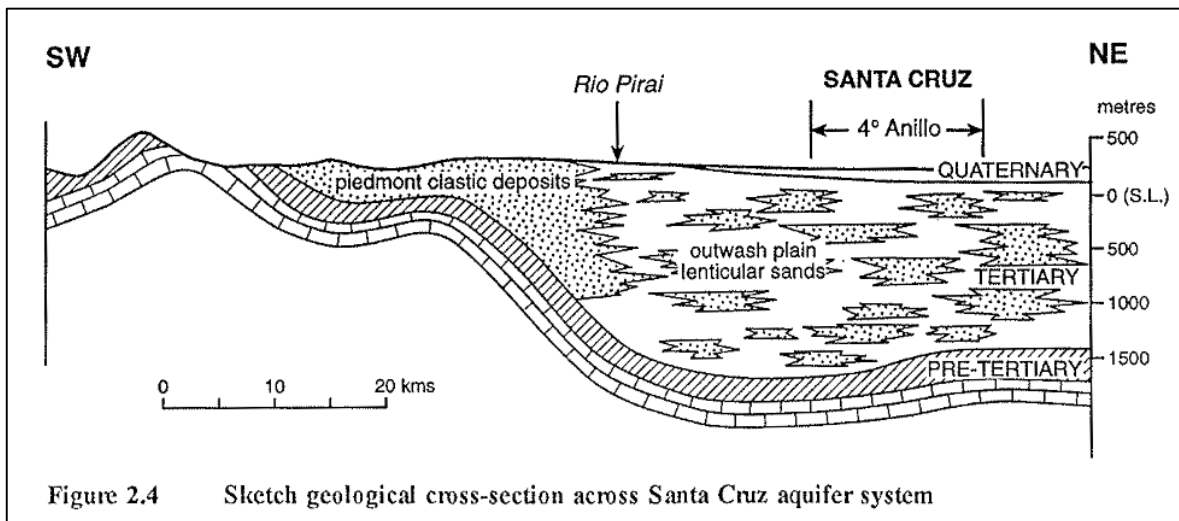
A pesar de las precipitaciones estacionalmente de alta intensidad, el drenaje de las aguas pluviales a los canales alineados apenas se está desarrollando localmente. En la mayor parte. El escurrimiento superficial se infiltra alrededor de las margas de aguas impermeables en el subsuelo arenoso. Las inundaciones superficiales son relativamente frecuentes pero rara vez persisten durante más de dos días.

Los componentes adicionales más grandes de la recarga de agua subterránea debajo de la ciudad son: (1) la disposición in-situ de las aguas residuales a las chimeneas y fosas sépticas, y (2) las fugas del suministro de agua de la red; Ser importante, pero es difícil de cuantificar con precisión.

Los pozos privados tienen generalmente menos de 90 m de profundidad y las aguas subterráneas abstractas de los acuíferos poco profundos solamente. Sin embargo, los principales pozos de suministro público bombean desde acuíferos más profundos (90-315 m) y como consecuencia inducen fugas significativas del acuífero superpuesto.

### **Geología e Hidrogeología**

Santa Cruz está situada un extenso yacimiento de llanura en el lado continental de la cordillera de los Andes. Su espesor supera los 1500 m en el área general de la ciudad (GITEC, 1982) y oscila entre mediados de la Terciaria hasta Cuaternarios (Figura 2.4). La mitad superior de la secuencia es de mayor importancia hidrogeológicamente, comprendiendo una secuencia compleja y alternante de gravas, arenas, limos y arcillas poco consolidadas con sus mezclas (Nuñez, 1978; GITEC, 1982).



Estos depósitos constituyen un sistema acuífero altamente productivo pero complejo, cuya naturaleza ha sido indicada por estudios de correlación estratigráfica realizados durante el anterior proyecto BGS / SAGUAPAC (BGS et al, 1995). Se encuentran muchas capas individuales de arena, arcilla y arcilla arenosa discontinuas que no son lo suficientemente extensivas lateralmente como para ser reflejadas en otras muestras obtenidas en distancias de más de unos pocos kilómetros. Se deduce que la presencia de estos lentes en lugar de extensas capas, permite que el agua subterránea se mueva verticalmente, así como horizontalmente a través de un acuífero heterogéneo complejo, en lugar de ser un sistema de múltiples capas restringidas. Esto implica que, si bien puede impedirse localmente la fuga vertical, el sistema en su conjunto puede considerarse como una amplia continuidad hidráulica.

también fueron demostrables dos tendencias litológicas (Figura 4):

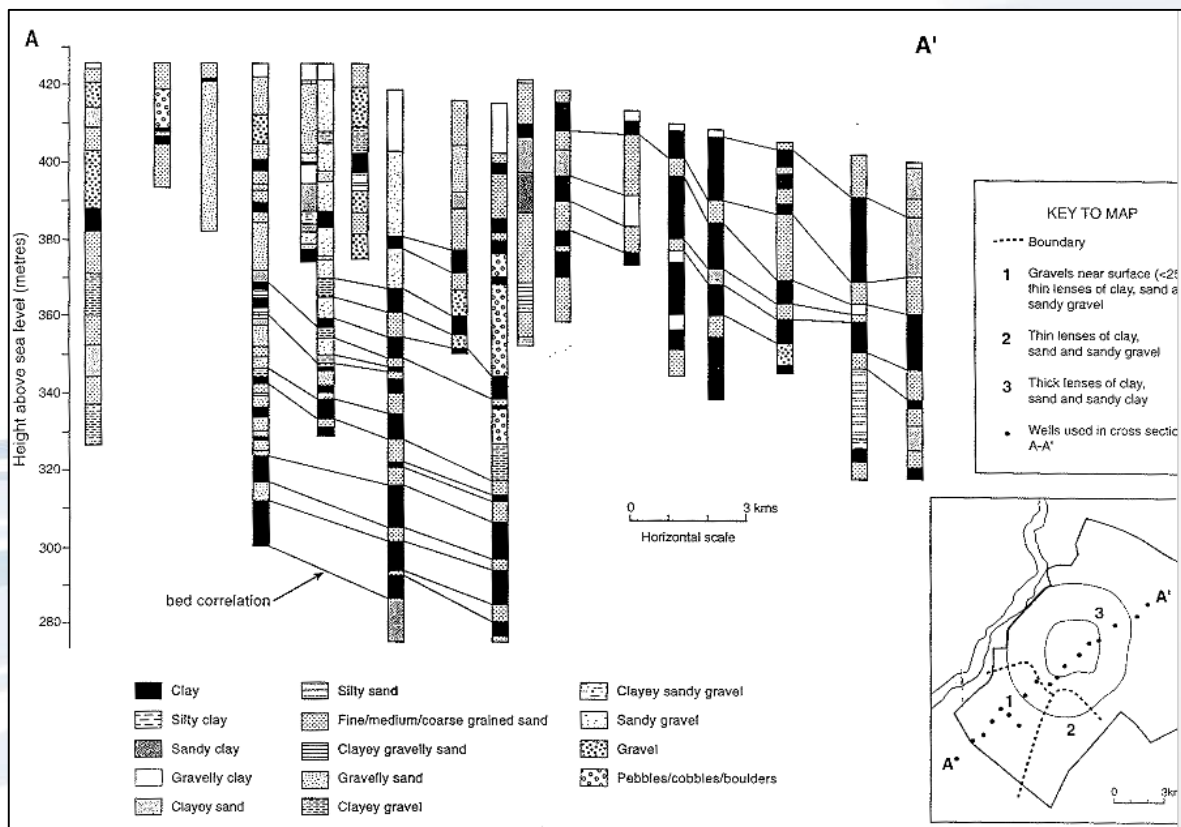
- Un nivel superior de 25 m de acuífero en el suroeste de la ciudad está dominado por aluviones de grano medio a grano grueso que comprenden gravas, arenas y mezclas. Existe también una capa dispersa y delgada de suelo limo-arcilloso que se superpone a estos sedimentos en la mitad sur de la ciudad, sin embargo, este sedimento se explota con frecuencia para hacer ladrillos y además se considera que es suficientemente delgada como para ser fácilmente perforada. En los sitios donde este sedimento limo-arcilloso no está presente, predominan los suelos arenosos permeables, por lo tanto, es probable una infiltración rápida de la superficie terrestre, y el percolado resultante será tanto en movimiento vertical como horizontal;
- Por otro lado, las zonas Este, Norte y Noreste de la ciudad están sustentadas por un estrato significativamente mayor de estratos arcillosos. Los estratos individuales también tienden a ser más gruesos, hasta 15 m de espesor, pero persistiendo las características Lenticulares. Es probable que la combinación de estratos de mayor espesor ayude a disminuir la discontinuidad lateral de los estratos significativamente, pero esto no impide, la capacidad de recarga vertical y lateral.

Los niveles freáticos poco profundos prácticamente son de la zona NorOeste, donde la superficie de la tierra está casi al nivel del cauce del Río Pirai y donde la corriente es de características perenne, pudiendo relacionarse hasta los 15 metros por debajo de la

superficie, bajo eje norte-sur cruzando el centro de la ciudad. En el año 1978 se realizó un mapa de los Nivel de agua (Nuñez, 1978), donde se mostraron una tendencia del flujo de las aguas subterráneas profundas claramente en un sentido de suroeste a noreste.

Los valores de propiedades físicas del acuífero son escasas; Un reanálisis de datos de ensayos de bombeo por parte de los consultores GITEC en pozos de SAGUAPAC localizados en el centro-sur y Parque Industrial mostraron **transmisividades en el rango de 660-890 m<sup>2</sup>/d**, representando **conductividades hidráulicas de aproximadamente 7-10 m/d** basados en pruebas de pozos ScreenLength. Los **coeficientes de almacenamiento** se situaron en el intervalo semi-confinado / semi-sin confinar de 0,0008-0,001. La respuesta semi-no confinada durante las pruebas de bombeo a corto plazo que está implícita en estos resultados es consistente con el ajuste hidrogeológico descrito anteriormente, e implica que es probable que se produzcan fugas a la baja como resultado de un bombeo prolongado.

**FIGURA 4.- PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DEL SISTEMA DE ACUÍFERO DE METROPOLITANO**



**c) Diseño de la red de monitoreo**

Debido a las características y objetivos de la Red de Monitoreo, se debe aplicar como **Categoría de monitoreo**, un **Monitoreo de tendencia**, ya que el mismo se aplica para puntos que tienen una mayor relevancia para la red y que representan mejor sus características generales. Se toman para predecir los cambios futuros que tendrá el acuífero, es decir, estos puntos son los que marcan la tendencia en la evolución en el tiempo del cuerpo de agua. Por otro lado, se necesitan menos pozos o puntos de monitoreo que en otros tipos o métodos de monitoreo como son el estadístico, geo estadístico o probabilístico.

Según el estudio denominado “Criterios para la Implementación de Redes de Monitoreo de Aguas Subterráneas”, estudio realizado por la División de Estudios y Planificación del Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile De 2019, basado en lo establecido por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), en zonas con capacidad de alta infiltración (como es el caso de la región metropolitana), el monitoreo debe ser más intenso, definiéndose para estos casos, considerando además que la superficie a monitorear (región metropolitana), puede asumirse como una cuenca mediana, la cantidad de pozos por superficie, debe ser de al menos 20 a 25 Km<sup>2</sup>/pozo.

En función de lo anterior, considerando el área actual urbanizada y la futura área de expansión urbana para los municipios de la Región metropolitana, tendremos:

#### Superficie total a monitorear

| Municipio           | Superficie Total (Km <sup>2</sup> ) | Superficie Actual Urbanizada (Km <sup>2</sup> ) | Superficie Futura de Expansión Urbana (Km <sup>2</sup> ) | Total, superficie a Monitorear (Km <sup>2</sup> ) | Nº de pozos |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------|
| El Torno            | 948                                 | 27                                              | 3                                                        | 30                                                | 3           |
| La Guardia          | 980                                 | 82                                              | 77                                                       | 159                                               | 8           |
| Porongo             | 930                                 | 8                                               | 21                                                       | 29                                                | 3           |
| Santa Cruz de la S. | 1337                                | 396                                             | 84                                                       | 480                                               | 24          |
| Cotoca              | 621                                 | 27                                              | 95                                                       | 122                                               | 6           |
| Warnes              | 1447                                | 71                                              | 114                                                      | 185                                               | 9           |
| <b>TOTAL</b>        | <b>6263</b>                         | <b>611</b>                                      | <b>394</b>                                               | <b>1005</b>                                       | <b>53</b>   |

Fuente: Elaboración propia- PUND-2020- VPEPP

En base a los resultados de laboratorio, está claro que el primer nivel de pozos de agua, es decir aquellos que están entre 0 y 50 m de profundidad, registran contaminación por nitratos y coliformes termotolerantes, siendo los niveles de cloruro, más elevados en relación a los valores encontrados en los estudios de BGS en 94/97, por lo que, este nivel en la zona central y hasta el 5to anillo, no debería monitorearse, considerándose para este nivel, pozos que se encuentren en zonas como: Plan 3000, Villa 1º de mayo y Norte, como áreas de expansión futura.

Los resultados del estudio, muestran con preocupación, el avance de la contaminación hasta niveles de pozos que van desde los 51 a los 100 m de profundidad, por lo que, este nivel debe ser el prioritario a monitorear, por lo que se deberán considerar como parte de la Red de Monitoreo, todos los pozos de



monitoreo exclusivos construidos por la Gobernación de Santa Cruz y el Programa Periagua, los cuales son los siguientes:

### Pozos Exclusivos de monitoreo existentes construidos por la Gobernación

| Municipio        | Lugar              | Pozo<br>(51 a 100m) | Pozo<br>(101 a 150m) | Observación                                |
|------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------------------|
| EL Torno         | Estadio            | 1                   |                      | Se debe realizar trabajo de mantenimiento  |
| El Torno         | Estadio            |                     | 1                    | En operación                               |
| La Guardia       | Estadio            | 1                   |                      | En operación                               |
| Porongo          | Los Batos          |                     | 1                    | En operación pertenece a Periagua          |
| Santa Cruz de S. | CEA                | 1                   |                      | Sin conexión eléctrica                     |
| Santa Cruz de S. | CEA                |                     | 1                    | Sin conexión eléctrica                     |
| Santa Cruz de S. | EMI                | 1                   |                      | En operación                               |
| Santa Cruz de S. | PADI- Parque Ind.  | 1                   |                      | En operación                               |
| Santa Cruz de S. | ECOIL- Parque Ind. |                     | 1                    | Con problemas                              |
| Cotoca           | Coliseo            | 1                   |                      | En operación                               |
| Cotoca           | Cancha Ferroviaria |                     | 1                    | Sin bomba ni caseta, ni conexión eléctrica |
| Warnes           | Parque Ecológico   | 1                   |                      | En operación                               |
| Warnes           | Estadio            |                     | 1                    | En operación                               |
| <b>TOTAL</b>     |                    | <b>7</b>            | <b>6</b>             | <b>13</b>                                  |

Fuente: Elaboración propia

A esta cantidad de pozos de monitoreo, se deben construir los siguientes pozos con las mismas características y en la siguiente ubicación:

### Pozos Exclusivos de monitoreo a ser construidos por la Gobernación

| Municipio           | Pozo<br>(0 a 50 m) | Pozo<br>(51 a 100m) | Pozo<br>(101 a 150m) | Coordenada de ubicación |         |
|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|---------|
|                     |                    |                     |                      | X                       | Y       |
| El Torno            | -                  | -                   | -                    | -                       | -       |
| La Guardia          | 1                  | -                   | -                    | 472778                  | 8025753 |
| La Guardia          | -                  | -                   | 1                    | 472545                  | 8025946 |
| Porongo             | 1                  | -                   | -                    | 476555                  | 8035835 |
| Santa Cruz de la S. | 1                  | -                   | -                    | 481511                  | 8023852 |
| Santa Cruz de la S  | 1                  | -                   | -                    | 487568                  | 8026062 |
| Santa Cruz de la S  | 1                  | -                   | -                    | 491272                  | 8028646 |
| Santa Cruz de la S  | -                  | 1                   | -                    | 476614                  | 8033829 |
| Santa Cruz de la S  | -                  | 1                   | -                    | 478498                  | 8025097 |
| Santa Cruz de la S  | -                  | 1                   | -                    | 490828                  | 8022610 |



|                    |          |          |          |        |         |
|--------------------|----------|----------|----------|--------|---------|
| Santa Cruz de la S | -        | 1        | -        | 493474 | 8032876 |
| Santa Cruz de la S | -        | 1        | -        | 485099 | 8054913 |
| Santa Cruz de la S | -        | -        | 1        | 483492 | 8023499 |
| Santa Cruz de la S | -        | -        | 1        | 492290 | 8047179 |
| Cotoca             | 1        | -        | -        | 498603 | 8036514 |
| Warnes             | 1        | -        | -        | 498603 | 8036514 |
| Warnes             | 1        | -        | -        | 481485 | 8062990 |
| Warnes             | -        | 1        | -        | 473863 | 8029834 |
| <b>TOTAL</b>       | <b>8</b> | <b>6</b> | <b>3</b> |        |         |

Fuente: Elaboración propia

Nota: Estos pozos se deben construir considerando la instalación de un sistema de medición de niveles, además del sistema de toma de muestras de agua en boca de pozo (grifo).

A estos pozos, se deben considerar los siguientes pozos pertenecientes a privados

#### Pozos de privados a incorporarse a la Red de Monitoreo

| Municipio           | Pozo<br>(0 a 50 m) | Pozo<br>(51 a 100m) | Pozo<br>(101 a 150m) | Coordenada de ubicación<br>(UTM) |         |
|---------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------|---------|
|                     |                    |                     |                      | X                                | Y       |
| El Torno            | 1                  | -                   | -                    | 460759                           | 8012094 |
| La Guardia          | 1                  | -                   | -                    | 471129                           | 8022181 |
| La Guardia          | 1                  | -                   | -                    | 477550                           | 8020017 |
| La Guardia          | -                  | -                   | 1                    | 469106                           | 8022474 |
| La Guardia          | -                  | -                   | 1                    | 474397                           | 8027468 |
| La Guardia          | -                  | -                   | 1                    | 475985                           | 8023631 |
| Porongo             | -                  | 1                   | -                    | 476732                           | 8038146 |
| Santa Cruz de la S. | 1                  | -                   | -                    | 493821                           | 8039822 |
| Santa Cruz de la S. | 1                  | -                   | -                    | 489098                           | 8044307 |
| Santa Cruz de la S. | 1                  | -                   | -                    | 480168                           | 8045736 |
| Santa Cruz de la S. | 1                  | -                   | -                    | 484846                           | 8022005 |
| Santa Cruz de la S. | 1                  | -                   | -                    | 491175                           | 8025582 |
| Santa Cruz de la S. | 1                  | -                   | -                    | 494096                           | 8030895 |
| Santa Cruz de la S. | -                  | 1                   | -                    | 488440                           | 8028759 |
| Santa Cruz de la S. | -                  | 1                   | -                    | 491932                           | 8038642 |
| Santa Cruz de la S. | -                  | -                   | 1                    | 486866                           | 8043012 |
| Cotoca              | 1                  | -                   | --                   | 498502                           | 8038191 |
| Cotoca              | 1                  | -                   | -                    | 502190                           | 8037420 |



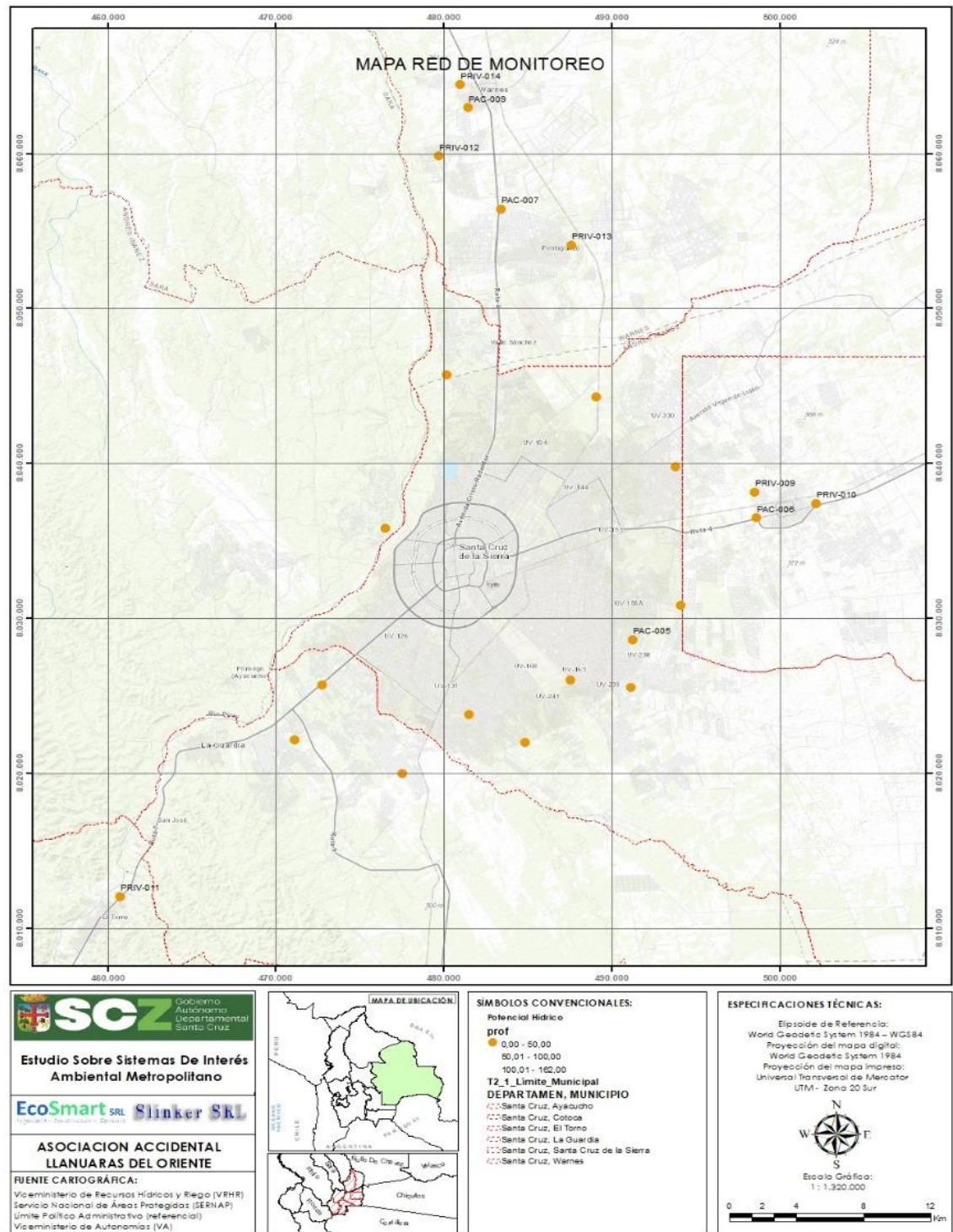
|              |           |          |          |        |         |
|--------------|-----------|----------|----------|--------|---------|
| Cotoca       | -         | 1        | -        | 499698 | 8037607 |
| Warnes       | 1         | -        | -        | 479739 | 8059868 |
| Warnes       | 1         | -        | -        | 487597 | 8054126 |
| Warnes       | 1         | -        | -        | 480982 | 8064472 |
| Warnes       | -         | 1        | -        | 485364 | 8060900 |
| <b>TOTAL</b> | <b>14</b> | <b>5</b> | <b>4</b> |        |         |

Fuente: Elaboración propia

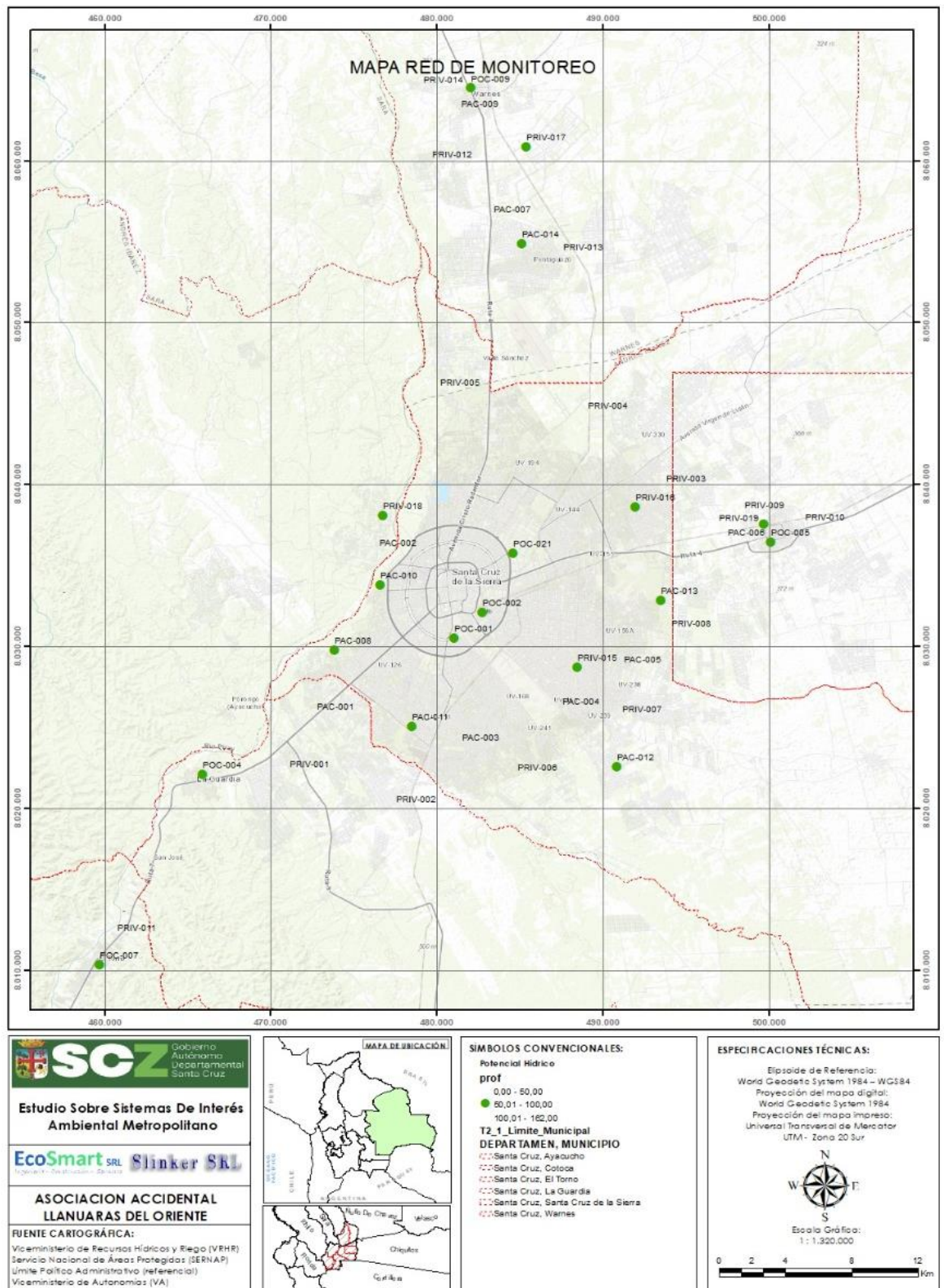
Nota: A todos estos pozos, se deberán adecuar de dos maneras:

- Solicitar implementación de un sistema de medición de niveles
- Solicitar implementación de un sistema de toma de muestra de agua en boca de pozo (grifo)

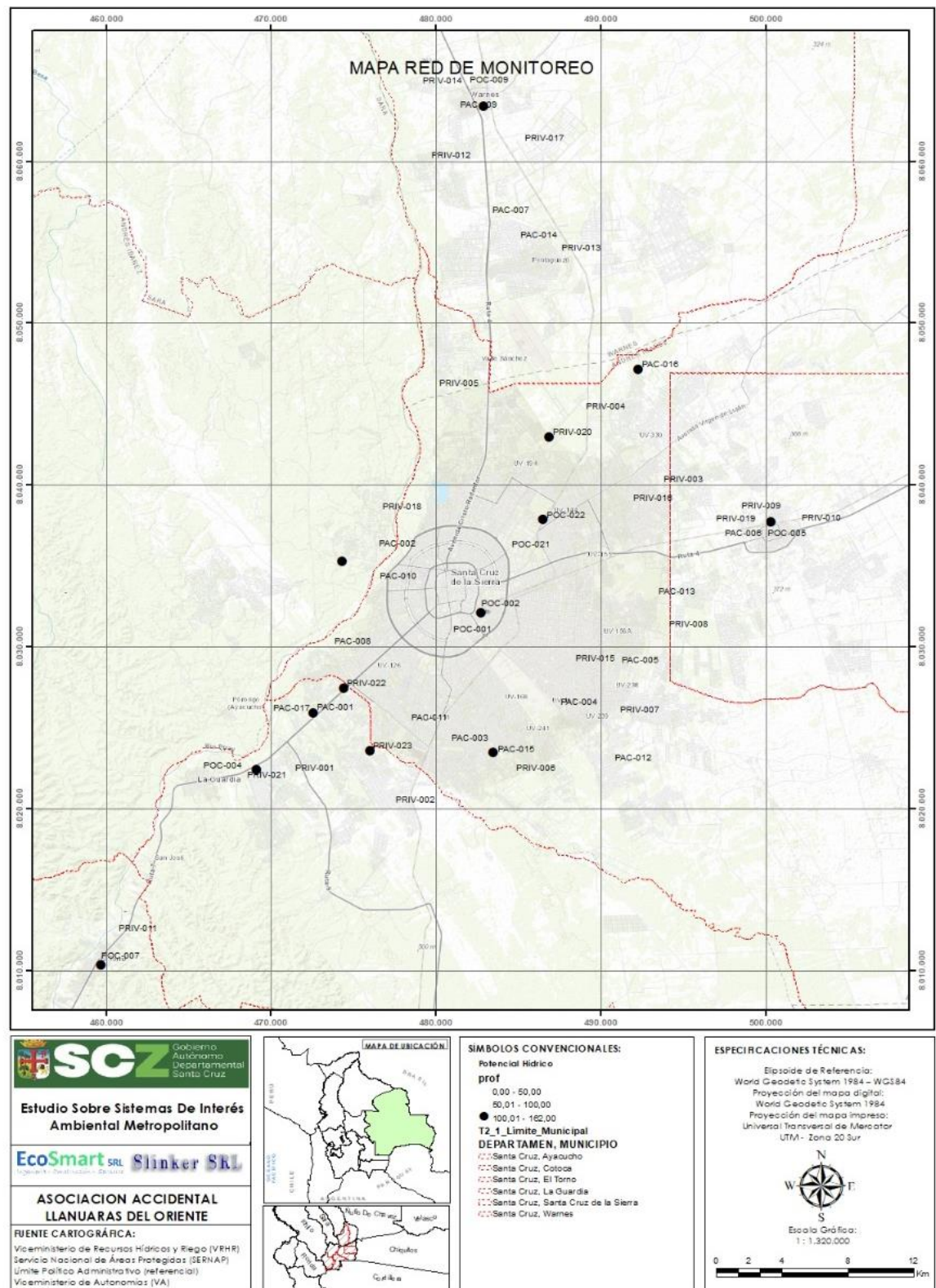
#### Mapa de ubicación de pozos de 0 a 50 m en la Red



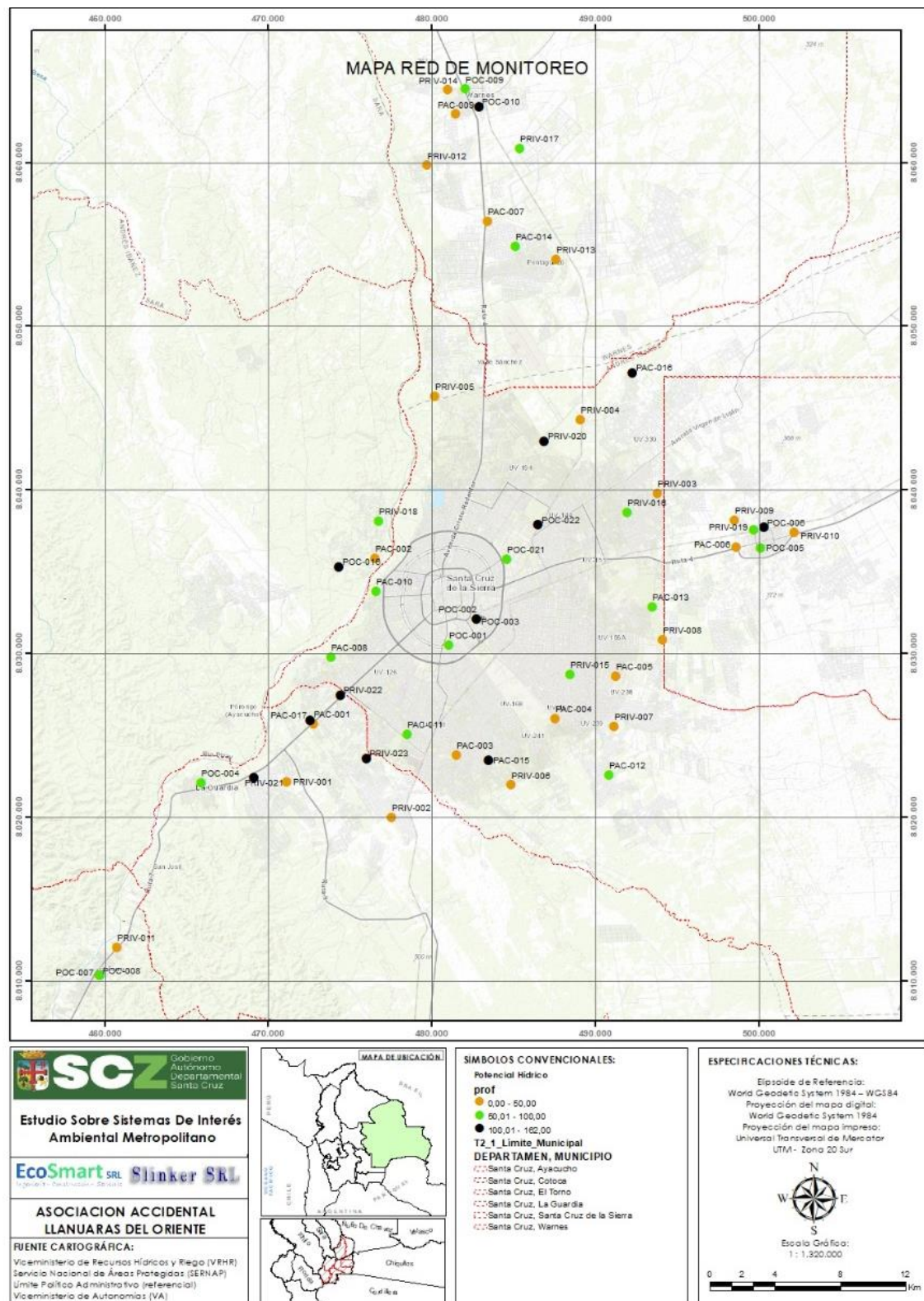
Mapa de ubicación de pozos de 51 a 100 m en la Red



Mapa de ubicación de pozos de 101 a 150 m en la Red



Mapa completo de la Red con todos los Pozos de monitoreo



d) Designación e implementación de métodos de recolección de datos de campo



Se debe seguir la metodología planteada, es decir:

- **Medición del nivel estático en pozos privados**

- Medición directa del nivel estático en pozos que están parados, utilizando la sonda respectiva
- En pozos que están operando, se debe apagar el pozo y esperar entre 5 a 10 minutos para lograr que el nivel estático se estabilice y entonces se procede a la medición con la sonda respectiva.

Nota: Se deberá llenar un formulario con los datos básicos de cada uno de los pozos de observación, indicando su localización, profundidad, diámetro(s), etc, tal como se muestra a continuación.

**Planilla para el registro de niveles estáticos en pozos de la Red**

| N° | PROPIETARIO DEL POZO<br>(EMPRESA Y NOMBRE RESPONSABLE)<br>O<br>PROPIETARIO DEL POZO | DIRECCION DE UBICACIÓN DEL POZO |                    | CODIGO DEL POZO | Coordenadas UTM (PSAD 56) |       |        | Profundidad del pozo | Diámetro del Pozo | NIVEL ESTATICO | OBSERVACIONES |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------|---------------------------|-------|--------|----------------------|-------------------|----------------|---------------|
|    |                                                                                     | MUNICIPIO                       | Calle/Avenida y N° |                 | X                         | Y     | Z      | (h)                  | D                 |                |               |
|    |                                                                                     |                                 |                    |                 | Este                      | Norte | Altura | m                    | (pulg)            | (m)            |               |
| 1  |                                                                                     |                                 |                    |                 |                           |       |        |                      |                   |                |               |
| 2  |                                                                                     |                                 |                    |                 |                           |       |        |                      |                   |                |               |
| 3  |                                                                                     |                                 |                    |                 |                           |       |        |                      |                   |                |               |
|    |                                                                                     |                                 |                    |                 |                           |       |        |                      |                   |                |               |
|    |                                                                                     |                                 |                    |                 |                           |       |        |                      |                   |                |               |
|    |                                                                                     |                                 |                    |                 |                           |       |        |                      |                   |                |               |
| n  |                                                                                     |                                 |                    |                 |                           |       |        |                      |                   |                |               |

- **Medición de nivel estático en pozos exclusivos de monitoreo existentes o a ser construidos**

- En estos pozos se debe instalar una sonda de medición de nivel permanente, la misma que reporte la información directamente a la central de información de la Gobernación.

- **Toma de muestra de agua**

Una vez medido el nivel estático, el técnico del laboratorio procedía a aplicar el protocolo de toma de muestra siguiendo la siguiente secuencia:



- **En pozos que cuentan con mecanismo de toma de muestra en boca de pozo**
  - Preparación de la salida de agua en boca de pozo, realizando procesos de limpieza y desinfección respectiva
  - Purga del pozo de agua hasta lograr conductividad constante
  - Recolección de muestras en 6 envases y frascos adecuados y preparados para tal fin de acuerdo al o los parámetros a analizar
  - Medición y Registro de datos in situ para parámetros que se miden en el lugar
  - Registro de información en formulario de Registro de Campo
  - Etiquetado de envases de muestras
  - Conservación mediante cadena de frío hasta su traslado al laboratorio
  
- **En pozos que no contaban mecanismo de toma de muestra en boca de pozo**
  - Preparación de la tubería de llegada de agua al tanque de almacenamiento, realizando procesos de limpieza y desinfección respectiva
  - Purga del pozo de agua hasta lograr conductividad constante
  - Recolección de muestras en 6 envases y frascos adecuados y preparados para tal fin de acuerdo al o los parámetros a analizar
  - Medición y Registro de datos in situ para parámetros que se miden en el lugar
  - Registro de información en formulario de Registro de Campo
  - Etiquetado de envases de muestras
  - Conservación mediante cadena de frío hasta su traslado al laboratorio

### **Programa de monitoreo**

Se deberá elaborar un programa de monitoreo que incluya información sobre la fecha del monitoreo, la hora, el pozo a monitorear la ubicación geográfica del pozo principalmente, los datos de dirección y teléfono del propietario del pozo cuando este es privado, es para poder coordinar la visita, para pozos exclusivos de monitoreo, esta última información no es necesaria.



| PROGRAMA DE MONITOREO |       |      |                            |   |           |                      |
|-----------------------|-------|------|----------------------------|---|-----------|----------------------|
| FECHA:                |       |      |                            |   |           |                      |
| N°                    | HORA  | POZO | UBICACIÓN GEOGRAFICA (UTM) |   | DIRECCION | TELEFONO PROPIETARIO |
|                       |       |      | X                          | Y |           |                      |
| 1                     | 07:00 | P1   |                            |   |           |                      |
| 2                     | 07:30 | P2   |                            |   |           |                      |
| 3                     | 08:00 | P3   |                            |   |           |                      |
| 4                     | 09:30 | P4   |                            |   |           |                      |
| 5                     | 10:30 | P5   |                            |   |           |                      |
| 6                     | 11:00 | P6   |                            |   |           |                      |

#### e) Procedimientos analíticos de laboratorio.

Para los análisis laboratoriales, es preferible trabajar con un laboratorio externo que asegure la imparcialidad de los resultados, el mismo que deberá acreditar o certificar su gestión mediante la Certificación ISO 17025 y contar con la mayor cantidad de parámetros acreditados mediante la institución IBMETRO:

Los parámetros a ser analizados en el laboratorio, utilizarán alguno de los métodos aprobados por el Manual de Métodos Estándar de la APHA – AWWA – WPCH, quien acompañara los informes con su correspondiente balance iónico, el mismo que mantenerse dentro de un equilibrio razonable (+/- 5%).

Un aspecto a considerar es que, los resultados obtenidos, deberán ser analizados y procesados de manera de obtener información tabulada, gráfica y en mapas y por supuesto, la interpretación respectiva de los resultados obtenidos.

#### f) Determinación de la frecuencia de muestreo y selección de variables a ser Analizadas

- **Parámetros de Laboratorio Analizados**

##### IONES MAYORES DE AGUA

| Nº |          | Parámetro        | Unidad       |
|----|----------|------------------|--------------|
| 1  | Cationes | pH               | Adimensional |
| 2  |          | CEE              | □S/cm        |
| 3  |          | Na <sup>+</sup>  | mg/l         |
| 4  |          | K <sup>+</sup>   | mg/l         |
| 5  |          | Ca <sup>2+</sup> | mg/l         |
| 6  |          | Mg <sup>2+</sup> | mg/l         |
| 7  |          | Fe <sup>2+</sup> | mg/l         |
| 8  |          | Mn <sup>2+</sup> | mg/l         |

|    |         |                               |      |
|----|---------|-------------------------------|------|
| 9  | Aniones | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | mg/l |
| 10 |         | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | mg/l |
| 11 |         | Cl <sup>-</sup>               | mg/l |
| 12 |         | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | mg/l |
| 13 |         | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | mg/l |

### MICROBIOLÓGICO

| N° | Parámetro                  | Unidad     |
|----|----------------------------|------------|
| 1  | Coliformes termotolerantes | UFC/100 ml |

Las muestras deben seguir los protocolos respectivos del laboratorio.

- **Frecuencia de monitoreo**

La frecuencia de monitoreo está íntimamente ligada a la importancia que tiene el punto en cuestión para la red de monitoreo.

Debido a que nuestra Red de Monitoreo es una Red de Monitoreo de Tendencia, tendrá una mayor frecuencia de monitoreo que una de vigilancia.

#### 1° Primer año

Se plantea realizar un monitoreo cada 3 meses, es decir, 4 monitoreos al año con lo cual, después de contar con 4 datos para cada parámetro, tener la información necesaria para poder definir la frecuencia de monitoreo por parámetro en los siguientes años.

#### 2° Segundo año en adelante

Con el análisis de la información obtenida en el primer año de monitoreo, se deberá realizar un programa de monitoreo que considere la frecuencia por parámetro a monitorear.

#### g) Manejo de la base de datos, especialmente en lo relacionado con manipulación, procesamiento y evaluación de los datos

Toda la información generada de los monitoreos, deberá cargarse a una base de datos que este asociado a un SIG, que tenga el privilegio de procesarla de manera de obtener:

- Gráficos
- Planillas
- Mapas temáticos
- Entre otros

## RECOMENDACIONES OPERATIVA Y TÉCNICAS PARA MEJORAR LA CONDICIÓN DE LOS POZOS DE MONITOREO

La Red de Monitoreo estará conformado por tres tipos de pozos para este fin a saber:

- Pozos exclusivos de monitoreo existentes y que fueron construidos por la Gobernación
- Pozos exclusivos de monitoreo que deben construirse
- Pozos privados

### a) Pozos exclusivos de monitoreo existentes de la Gobernación

Esto pozos exclusivos de monitoreo que actualmente cuenta la Gobernación, en su mayoría se encuentran operativos, sin embargo, existen algunos que deben repararse y que se mencionan a continuación:

#### Pozos de monitoreo que deben repararse

| Municipio        | Lugar              | Pozo<br>(51 a 100m) | Pozo<br>(101 a 150m) | Observación                                                                                                         |
|------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| EL Torno         | Estadio            | 1                   |                      | Se debe realizar trabajo de mantenimiento del sistema eléctrico, tablero de control y cambio de la bomba sumergible |
| Santa Cruz de S. | CEA                | 1                   |                      | Sin conexión eléctrica, debe realizarse la conexión respectiva y tablero de control                                 |
| Santa Cruz de S. | CEA                |                     | 1                    |                                                                                                                     |
| Santa Cruz de S. | ECOIL-Parque Ind.  |                     | 1                    | Se debe realizar una limpieza y mantenimiento del pozo, además de un mantenimiento de la conexión eléctrica         |
| Cotoca           | Cancha Ferroviaria |                     | 1                    | Se debe realizar trabajo de mantenimiento del sistema eléctrico, tablero de control y cambio de la bomba sumergible |
| <b>TOTAL</b>     |                    | <b>2</b>            | <b>3</b>             |                                                                                                                     |

**b) Pozos exclusivos de monitoreo a ser construidos por la Gobernación**

Debido a que estos pozos, deben ser construidos, desde su concepción del proyecto de construcción, debe incorporar tanto el mecanismo para introducir la sonda como para la toma de muestra de agua. Esto deberá estar incluido en las especificaciones técnicas para su construcción.

Las etapas para la construcción de cada pozo de monitoreo u observación comprenden:

- a) Movilización y desmovilización del personal, equipos y materiales.
- b) Provisión e instalación de caño conductor.
- c) Perforación de pozo piloto.
- d) Registro Eléctrico.
- e) Ensanche de pozo piloto.
- f) Provisión e instalación de tubería de revestimiento.
- g) Provisión e instalación de filtros.
- h) Provisión e instalación de centralizador.
- i) Provisión y colocación de grava seleccionada.
- j) Lavado preliminar del pozo.
- k) Limpieza y desarrollo del pozo.
- l) Prueba de bombeo del pozo.
- m) Desinfección del pozo.
- n) Colocado de un politubo de 1 pulgada que sea de una profundidad que alcance hasta el filtro respectivo
- o) Provisión y colocación de sello sanitario
- p) Provisión y colocación de base de concreto.
- q) Provisión y colocación de losa de hormigón.
- r) Provisión e instalación de bomba sumergible y sistema de control del pozo (tablero de comandos)
- s) Provisión e instalación de caseta para resguardo del pozo.

**c) Pozos privados**

Todos los pozos privados que serán parte de la Red de Monitoreo, deben realizar las siguientes adecuaciones:

- Cambio de la Tapa del pozo que cuente con un orificio para instalar un politubo de 1 pulgada para la introducción ya sea de la sonda de medición de nivel estático manual.
- Instalación de una válvula para la toma de muestra de agua, inmediatamente después de la boca del pozo, o en su defecto en la línea de flujo pero que no esté interferida, o exista la posibilidad de contaminación de la muestra.

## PRESUPUESTO ANUAL QUE REPRESENTA EL PLAN DE MUESTREO PERMANENTE

Antes de elaborar el presupuesto para el monitoreo de los pozos de la Red considerados, se necesita realizar un acondicionamiento de pozos (POC) exclusivos de monitoreo que fueron construidos por la Gobernación, que son muy importantes para la Red pero que, en alguno de los casos, deben acondicionarse por presentar problemas. Este presupuesto es el siguiente:

### Presupuesto para acondicionar pozos exclusivos de monitoreo existentes

| MUNICIPIO               | LUGAR DE UBICACIÓN POZO           | CODIGO POZO | PROFUNDIDAD POZO (m) | TRABAJO A REALIZAR                                                                                                                        | COSTO TOTAL (Bs) |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| El Torno                | Estadio                           | POC-007     | 60                   | Se debe realizar trabajo de mantenimiento pozo, sistema eléctrico, tablero de control y cambio de la bomba sumergible                     | 17,500.00        |
| Santa Cruz de la Sierra | CEA                               | POC-002     | 82                   | Sin conexión eléctrica, debe realizarse la conexión respectiva y tablero de control                                                       | 3,700.00         |
| Santa Cruz de la Sierra | CEA                               | POC-003     | 150                  |                                                                                                                                           |                  |
| Santa Cruz de la Sierra | Empresa ECOIL (Parque Industrial) | POC-015     | 140                  | Se debe realizar una limpieza y mantenimiento del pozo, además de un mantenimiento de la conexión eléctrica                               | 1,000.00         |
| Cotoca                  | Cancha Ferroviaria                | POC-006     | 150                  | Se debe realizar trabajo de mantenimiento pozo, sistema eléctrico, tablero de control y cambio de la bomba sumergible y reparación caseta | 20,000.00        |
| <b>TOTAL</b>            |                                   |             |                      |                                                                                                                                           | <b>42,200.00</b> |

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera, se deberán construir nuevos pozos de monitoreo para la Red lo cual se muestra en el siguiente cuadro

### Presupuesto para construir nuevos pozos de monitoreo exclusivos

| MUNICIPIO                                                      | LUGAR DE UBICACIÓN POZO |   | PROFUNDIDAD POZO (m) | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (Bs) | COSTO TOTAL (Bs) | OBSERVACION                                                                              |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------|---|----------------------|----------|---------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                | X                       | Y |                      |          |                     |                  |                                                                                          |
| EL Torno                                                       | 0                       | 0 | 0                    | 0        | 0                   | 0.00             | 0                                                                                        |
| La Guardia                                                     |                         |   | 40                   | 1        | 91,000.00           | 91,000.00        | Construccion pozo y caseta                                                               |
| La Guardia                                                     |                         |   | 140                  | 1        | 175,000.00          | 175,000.00       | Construccion pozo y caseta                                                               |
| Porongo                                                        |                         |   | 40                   | 1        | 91,000.00           | 91,000.00        | Construccion pozo y caseta                                                               |
| Santa Cruz de La S.                                            |                         |   | 40                   | 3        | 91,000.00           | 273,000.00       | Construccion pozo y caseta                                                               |
| Santa Cruz de La S.                                            |                         |   | 60                   | 5        | 110,894.00          | 554,470.00       | Construccion pozo y caseta                                                               |
| Santa Cruz de La S.                                            |                         |   | 140                  | 2        | 175,000.00          | 350,000.00       | Construccion pozo y caseta                                                               |
| Cotoca                                                         |                         |   | 40                   | 1        | 91,000.00           | 91,000.00        | Construccion pozo y caseta                                                               |
| Warnes                                                         |                         |   | 40                   | 2        | 91,000.00           | 182,000.00       | Construccion pozo y caseta                                                               |
| Warnes                                                         |                         |   | 60                   | 1        | 110,894.00          | 110,894.00       | Construccion pozo y caseta                                                               |
| La Guardia,<br>Porongo, Santa Cruz de la S.,<br>Cotoca, Warnes | Lo indicado             |   | Lo indicado          | 17       | 28,000.00           | 476,000.00       | transductores de presión<br>automáticos, inalámbricos<br>incluye sistemas de transmisión |
| TOTAL                                                          |                         |   |                      |          |                     | 2.394.364.00     |                                                                                          |

Fuente: Elaboración propia

EL presupuesto anual para realizar el monitoreo en un año de gestión es el siguiente, considerando dos escenarios:

**a) Escenario 1: Realizando el primer año un monitoreo trimestral de los 14 parámetros por muestra**

| Municipio               | Cantidad<br>muestras al año | Cantidad de<br>pozos a<br>monitorear | Costo<br>unitario por<br>muestra<br>(Bs) | Costo Total<br>(Bs) |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|---------------------|
| El Torno                | 12                          | 3                                    | 1,260.00                                 | 15,120.00           |
| La Guardia              | 32                          | 8                                    | 1,260.00                                 | 40,320.00           |
| Porongo                 | 12                          | 3                                    | 1,260.00                                 | 15,120.00           |
| Santa Cruz de la Sierra | 192                         | 24                                   | 1,260.00                                 | 241,920.00          |
| Cotoca                  | 24                          | 6                                    | 1,260.00                                 | 30,240.00           |
| Warnes                  | 36                          | 9                                    | 1,260.00                                 | 45,360.00           |
| <b>TOTAL</b>            | <b>308</b>                  | <b>53</b>                            |                                          | <b>388,080.00</b>   |

Nota: el costo unitario incluye: muestreo y analisis; transporte y servicio técnico

Fuente: Elaboración propia

**b) Escenario 2: Realizando solo monitoreo de parámetros mínimos principales**

Siendo los parámetros los siguientes:

- Conductividad
- pH

- Fe
- Mn
- Cloruros
- Nitratos
- Coliformes termotolerantes

| Municipio               | Cantidad<br>muestras al año | Cantidad de<br>pozos a<br>monitorear | Costo<br>unitario<br>(Bs) | Costo Total<br>(Bs) |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------|
| El Torno                | 6                           | 3                                    | 800.00                    | 4,800.00            |
| La Guardia              | 16                          | 8                                    | 800.00                    | 12,800.00           |
| Porongo                 | 6                           | 3                                    | 800.00                    | 4,800.00            |
| Santa Cruz de la Sierra | 48                          | 24                                   | 800.00                    | 38,400.00           |
| Cotoca                  | 12                          | 6                                    | 800.00                    | 9,600.00            |
| Warnes                  | 18                          | 9                                    | 800.00                    | 14,400.00           |
| <b>TOTAL</b>            | <b>106</b>                  | <b>53</b>                            |                           | <b>84,800.00</b>    |

Nota: el costo unitario incluye: muestreo y analisis; transporte y servicio técnico

Fuente: Elaboración propia

## HALLAZGOS Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO

### a) Hallazgos

- El monitoreo de los niveles de agua subterránea es vital para comprender y gestionar de manera sostenible la cantidad de agua subterránea dentro de un acuífero. Los niveles de agua subterránea pueden variar de acuerdo a la época del año, la cantidad de precipitación que infiltra, la cantidad de agua subterránea a la que acceden las EPSA's y SARH's, entre otros. Mientras que el monitoreo de parámetros físicos, químicos y biológicos, son esenciales para determinar los impactos del uso de suelos en la calidad del agua subterránea. Los cambios en la calidad del agua subterránea a través del tiempo pueden indicar la incidencia de contaminantes de origen antrópico, que incluyen, la agricultura (fertilizantes), la industria (minería), la disposición de residuos sólidos, etc.
- Por ello es importante realizar evaluaciones anuales para establecer los efectos a corto y a largo plazo del bombeo y el cambio climático en los niveles de agua subterránea, y las variaciones temporales de la calidad de las aguas subterráneas, con el fin de proveer datos para el apoyo de acciones a nivel local, regional y nacional.
- El área metropolitana de Santa Cruz, presenta un crecimiento considerable de la población, que demandará más recursos hídricos, por ello es necesario esta clase de estudios, para una adecuada toma de decisiones.
- Se han identificado principalmente en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, presencia de muchos pozos perforados utilizados para el lavado de vehículos (Lavaderos), desde el centro hacia la periferia.



- La mayoría de los pozos privados monitoreados, no cuentan con un sistema de toma de muestras de agua en boca de pozo
- En pozos del primer nivel, es decir aquellos que están en el rango de 0 a 50 metros de profundidad, se confirma la contaminación orgánica y bacterial determinado en los estudios de la BGS en el 94/97, expresados en parámetros que exceden la norma de comparación como es el Cuadro N° A-1 del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, como ser: Nitratos, Cloruros y Coliformes Termotolerantes, además de manganeso, en niveles que están por encima de la NB 512.
- Se confirma la sospecha que se tenía de encontrar contaminación orgánica y bacterial en pozos del segundo nivel, es decir, aquellos del rango de 51 a 100 metros de profundidad, lo cual era de esperarse por el tipo de litología que se tiene en el acuífero, lo cual favorece el desplazamiento no solo horizontal sino vertical de un posible contaminante, en este nivel también se pudo evidenciar presencia de nitratos, cloruros y Coliformes (en algunos casos), lo cual llama la atención al encontrarse Coliformes en pozos de 87, 90 y 94 metros.

**b) Recomendaciones**

- Realizar un diagnóstico del uso y aprovechamiento del recurso hídrico por las EPSA o operador.
- Realizar un inventario de las fuentes subterráneas y controlar las existentes.
- Definir criterios para protección del acuífero de la contaminación, por actividades antrópicas o naturales
- Criterios para determinar mapeo de la vulnerabilidad de la contaminación del acuífero
- Establecer criterios para determinar mapas geológicos/hidrogeológicos regionales
- Establecer criterios para determinar áreas de recarga y régimen de flujo en el acuífero y establecer un programa de protección.
- Establecer criterios que deberá considerarse con relación a los perfiles naturales del suelo que permitan la atenuación o autodepuración de contaminantes
- Criterios para que se pueda determinar si el acuífero es confinado o no confinado
- Criterios para establecer la implementación de medidas de control de la contaminación
- Conceptualización para formular un programa de vigilancia
- Elección de puntos de observación (pozos propios o de observación)
- Determinar la frecuencia de control y protocolos de toma de muestras y mediciones.
- Establecer lones Mayoritarios como los parámetros de calidad a monitorear y criterios de alerta en caso de riesgos de contaminación, sequía, etc.