

#### **4.6. FASE 6: Formulación de un protocolo de monitoreo del impacto de la aplicación de los efluentes residuales líquidos sobre las aguas subsuperficiales y subterráneas.**

Esta fase involucró dos actividades fundamentales:

- a) la formulación del protocolo de un plan de monitoreo y,
- b) la implementación del plan en forma piloto

En relación a la formulación del protocolo del plan de monitoreo, el proyecto desarrolló una propuesta que incorpora los aspectos fundamentales de los procedimientos, técnicas y normas referidas al muestreo, análisis e intensidad del monitoreo, todos ellos referidos a los niveles de vulnerabilidad del sitio de emplazamiento de los planteles.

Por lo tanto, se postula que, la secuencia lógica de utilización del protocolo se inicia con una evaluación objetiva del nivel de vulnerabilidad del sitio, para lo cual el proyecto evaluó tres metodologías que involucraron diferentes requerimientos y produjeron diferentes resultados. Como resultado de esa evaluación, se propone la utilización de una de las metodologías como oficial. En segundo término, una vez conocida la vulnerabilidad del sitio, es posible solicitarle al proponente, en conjunto con las medidas de mitigación pertinentes, la utilización de un determinado nivel de monitoreo. Este protocolo de monitoreo fue desarrollado considerando que la vulnerabilidad era conocida, y puede ser aplicado utilizando la evaluación de vulnerabilidad propuesta o cualquiera otra que se implemente como oficial en el futuro.

El proyecto, como última actividad comprometida dentro de esta etapa, implementó dos unidades piloto de monitoreo y se mantuvo muestreando durante un año continuo, con intervalos trimestrales, las aguas superficiales y subterráneas de dos planteles, uno ubicado en la VI región del Libertador Bernardo O'Higgins y otro en la VIII Región del Bío-Bío.

## **Protocolo para el monitoreo del impacto de la aplicación de purines en los cuerpos de aguas subterráneas y superficiales**

Este protocolo pretende entregar una serie de recomendaciones técnicas, destinadas a los productores de cerdo, para apoyarlos en el desarrollo de sus procesos de autocontrol. Para este efecto se entregan una serie de recomendaciones que permitirán la definición e implementación de una red de monitoreo para medir el estatus de un grupo de parámetros que caracterizan la calidad de los cuerpos de agua receptores de la contaminación difusa producida por la aplicación de purines. Se utilizaron diversas referencias bibliográficas para la elaboración de este protocolo, las cuales fueron citadas en los informes de avance pertinentes. La intensidad de muestro, así como los parámetros a medir, fueron propuestos como una función del nivel de vulnerabilidad del sitio, recomendaciones que más adelante se detallan.

### **Definiciones**

<u>Acuífero</u>	: Es una formación geológica donde se almacena agua y desde la cual esta puede ser liberada fácilmente, ya sea mediante drenaje natural, artificial o bombeo.
<u>Aguas Subterráneas</u>	: Son las aguas continentales que se encuentran moviéndose o almacenadas bajo la superficie del suelo.
<u>Aguas superficiales</u>	: Son las aguas continentales que se encuentran moviéndose o almacenadas sobre la superficie del suelo.
<u>Autocontrol</u>	: Es la práctica según la cual los productores, controlan el impacto que ellos producen en el ambiente.
<u>Bentonita</u>	: Es una arcilla que al ser humedecida aumenta su volumen, se usa para impermeabilizar.
<u>Coordenadas UTM</u>	: Es el sistema de coordenadas planas utilizado en la cartografía oficial de Chile.

<u>Cuenca Hidrográfica</u>	: Corresponde a una unidad geográfica, definida por que toda el agua que ingresa a dicha unidad, drena en forma natural a un mismo punto.
<u>Cuerpo de agua</u>	: Es un volumen de agua, por ejemplo un río, un lago o un acuífero
<u>Georreferenciación</u>	: Consiste en asignar una coordenada a un punto, por ejemplo mediante un GPS
<u>Muestreo</u>	: Es el proceso de tomar una porción representativa de agua, que permita medir los parámetros que representan la calidad de un cuerpo de agua.
<u>Nivel freático</u>	: Es el nivel que alcanza el agua en un acuífero. Bajo este nivel los poros del suelo que conforma el acuífero están saturados.
<u>Vulnerabilidad</u>	: Es la facilidad relativa con la cual un contaminante, aplicado en o cerca de la superficie del suelo, puede migrar al acuífero.
<u>Zona no saturada</u>	: Corresponde al suelo ubicado sobre el nivel freático, en el cual existe aire en los poros y el agua se encuentra retenida por capilaridad.
<u>Zona saturada</u>	: Corresponde al suelo ubicado bajo el nivel freático, en el cual los poros están llenos de agua.

## **Procedimiento**

Los predios donde se realiza la aplicación de purines no están aislados del entorno, sino que ellos forman parte de una cuenca hidrográfica. Por esa razón, es importante identificar los puntos del predio por donde ingresan y salen las aguas, pues a través de estos puntos se producirá el transporte de los contaminantes.

En el caso de la escorrentía superficial, los puntos de ingreso corresponden a los canales de riego y a los esteros que pasen por el predio.

Las salidas de agua son los desagües y las salidas de los esteros.

En el caso de las aguas subterráneas, lo normal, en el Valle Central de Chile, sería esperar que los ingresos de agua subterránea ocurran en los puntos más altos del predio y las salidas en los puntos más bajos.

Los puntos donde se postula que se deberá controlar el impacto de la aplicación de purines quedan pues, definidos por los ingresos y salidas de agua del predio:

### **Determinación de los puntos de control**

Se denominan puntos de control a lugares específicos donde se toman, en forma periódica, muestras de agua para obtener una caracterización de su calidad mediante la medición de un conjunto de parámetros. La medición periódica de los parámetros permite hacer análisis comparativos y estudiar la variación de la calidad del agua en el punto donde se toman las muestras.

La localización de los puntos de control deberá ser georreferenciada en coordenadas UTM, especificando el Datum utilizado. Además se deberá establecer una minuta donde se describa la ubicación del punto de control, tomando como referencia algún objeto estático fácilmente reconocible (estructuras, caminos, etc.). Para cada punto seleccionado se deberá llenar la ficha de punto de control, que se presenta más adelante.

#### Aguas superficiales:

Para definir los puntos de control se deben considerar los siguientes criterios:

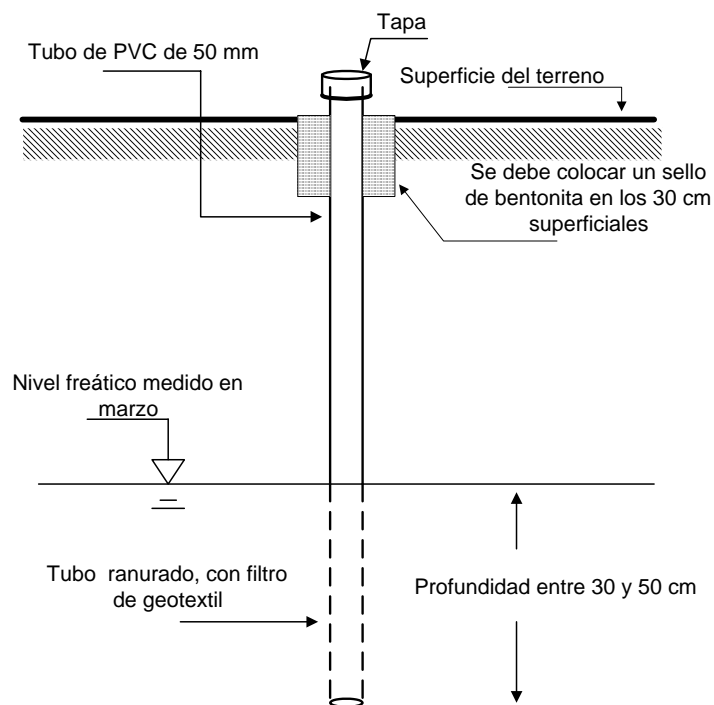
- Se deberá definir un punto de control en cada desagüe del predio.
- Se recomienda definir un punto de control en cada punto de ingreso de agua al predio.
- En caso de esteros o cauces colindantes, se recomienda definir un punto de control aguas arriba del predio y se debe definir un punto de control aguas abajo del predio.

- Los puntos de control deberán estar ubicados de tal forma que sea posible obtener muestras de agua representativas.
- Es recomendable en el caso de esteros o canales medir el caudal en el punto de control; y en el caso de lagunas o lagos, medir la altura del espejo de agua.
- No se recomienda establecer puntos de control donde se observen aguas estancadas o notoriamente estratificadas.
- Los puntos de control deberán ser claramente marcados, ya sea con una estaca o con un monolito de hormigón.

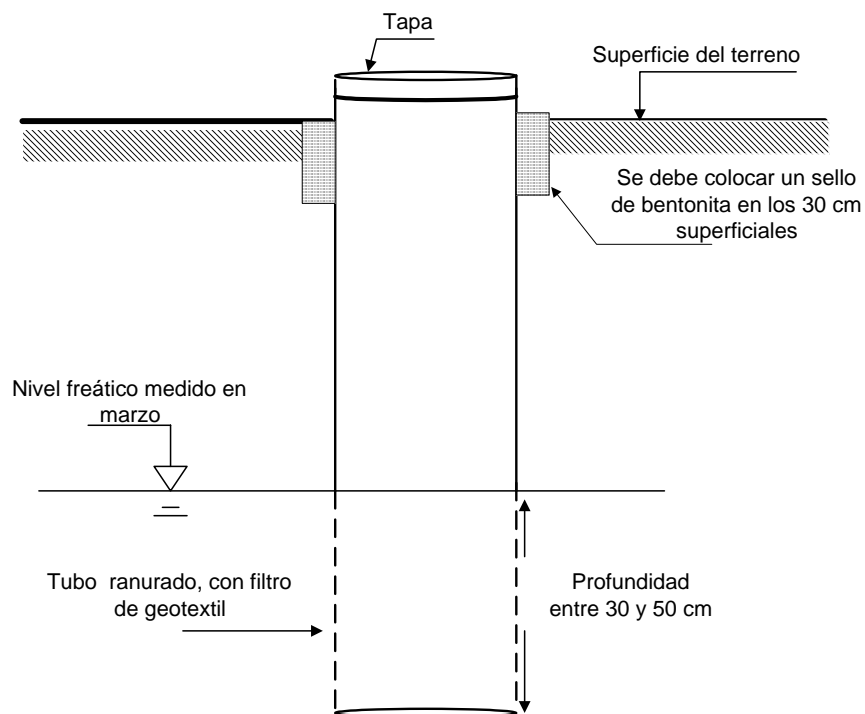
#### Aguas subterráneas:

- No se recomienda monitorear en norias existentes, puesto que estas son muy factibles de ser contaminadas por otros factores como caída de basura, purines. Por ello, es discutible que el agua de la noria refleje la calidad de las aguas subterráneas.
- Si existen drenes o vertientes, ubicadas aguas abajo del predio, se deberán considerar como puntos de control.
- Se recomienda construir una batería de pozos de observación, ubicados en el límite más bajo del predio para utilizarlas como punto de control de la calidad de las aguas subterráneas que salen del predio.
- Se recomienda construir una batería de pozos de observación ubicados en el límite más alto del predio para utilizarlas como punto de control de la calidad de las aguas subterráneas que ingresan al predio.
- Debido a que se espera detectar impactos recientes producidos por la aplicación de purines, las muestras de aguas subterráneas deben ser tomadas sólo en los primeros 50 centímetros del espesor saturado del suelo, tomando como referencia el nivel saturado medido en el mes de marzo.

Si el suelo lo permite, las punteras pueden ser construidas mediante una perforación hecha con barreno y posteriormente se coloca un tubo de PVC (figura 6.1). En suelos muy pedregosos se recomienda construir un pozo noria, del menor diámetro posible, el cual deberá ser terminado de la forma indicada en la figura 6.2.



**Figura 6.1. Esquema de la instalación de una puntera para el muestreo de agua subterránea.**



**Figura 6.2. Esquema de la instalación de un pozo excavado para el muestreo de agua subterránea. La excavación debe ser del menor diámetro posible**

El número de pozos a construir dependerá de la superficie que se quiera controlar y deberá ser decidido para cada caso en particular. Sin embargo y como referencia, se puede usar la recomendación dada en la siguiente tabla 6.1.

**Tabla 6.1. Recomendación sobre el número de pozos de control a construir dependiendo de la superficie a controlar**

Superficie [Hectáreas]	Número de pozos	
	Aguas arriba	Aguas abajo
0 - 50	1	1
50 – 100	2	2
100 – 500	3	3
500 - 1000	4	4
> 1000	5	5

### **Análisis de Vulnerabilidad de las Aguas subterráneas**

El impacto más difícil de visualizar en el caso de la aplicación de purines de cerdo, es la contaminación que se puede producir en los acuíferos ubicados bajo los terrenos donde se hacen las aplicaciones. Por esto, se recomienda realizar un análisis de vulnerabilidad del acuífero ubicado bajo el predio donde se aplican los purines. Para esto se propone que se utilice la metodología propuesta en el Manual para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos en la Norma de Emisión a Aguas Subterráneas, generado por la Dirección General de Aguas (DGA) en 2003. Este proyecto ha comparado 3 métodos de análisis de vulnerabilidad, cuyos resultados y procedimiento de muestran al final de este subcapítulo. En lo sustantivo, establece que este método es demasiado conservador dado que establece como uno de sus principales elementos la cercanía del nivel freático con la superficie del suelo. Por esta razón, el proyecto recomienda, en la medida de lo posible, utilizar adicionalmente el método AVI, que se describe más adelante.

La metodología exigida por la DGA considera el uso del método desarrollado por el Instituto de Geociencias y Recursos Naturales en conjunto con los Servicios Geológicos Federales de Alemania (Método BGR). Para aplicar este método se deben evaluar cinco parámetros:

1. Capacidad de Campo efectiva del primer metro de la columna de suelo no saturado ubicada sobre el nivel freático.
2. Tasa de percolación, se debe evaluar tanto la recarga natural como la recarga artificial que percola al acuífero.
3. Composición de la zona no saturada y el suelo orgánico
4. Espesor de la zona no saturada
5. Condiciones de acuíferos artesianos

A cada parámetro se le asigna un puntaje de acuerdo a tablas de referencia publicadas en el Manual de la DGA. La suma de los puntajes entrega el índice de vulnerabilidad que se clasifica en los siguientes rangos: Alta, media y Baja.

Para la aplicación del Método BGR, de acuerdo a las instrucciones de la DGA, se debe medir el nivel freático, en la zona a evaluar, durante la primavera. Lo anterior se debe al hecho de que durante dicha estación el nivel freático está más cerca de la superficie.

Para determinar los parámetros del método se debe realizar un estudio del suelo, que incluya la construcción de calicatas, de tal forma de conocer la estratigrafía del suelo y la ubicación del nivel freático.

### **Parámetros a controlar**

Con el objetivo de obtener una representación de la calidad de las aguas superficiales o subterráneas impactadas por la aplicación de purines de cerdo, es necesario definir un conjunto de parámetros o índices de calidad. Para esto se recomienda utilizar los siguientes conjuntos de parámetros.



**Tabla 6.2. Parámetros representativos de la calidad de agua, superficial o subterránea, para zonas ubicadas sobre acuíferos de alta vulnerabilidad**

	Parámetro
1	Coliformes fecales
2	DBO <sub>5</sub>
3	Fosfatos
4	Nitratos
5	Oxígeno disuelto
6	pH
7	Sólidos disueltos
8	Temperatura
9	Turbidez

Para el caso de predios ubicados sobre acuíferos de vulnerabilidad alta, se recomienda la realización de una campaña cuatrimestral de monitoreo.

**Tabla 6.3. Parámetros representativos de la calidad de agua, superficial o subterránea para zonas ubicadas sobre acuíferos de media vulnerabilidad.**

	Parámetro
1	Coliformes fecales
2	DBO <sub>5</sub>
3	Fosfatos
4	Nitratos
5	PH
6	Temperatura

Para el caso de predios ubicados sobre acuíferos de vulnerabilidad media, se recomienda la realización de una campaña semestral de monitoreo.

**Tabla 6.4. Parámetros representativos de la calidad de agua, superficial o subterránea, para zonas ubicadas sobre acuíferos de baja vulnerabilidad**

	Parámetro
1	Coliformes fecales
2	DBO <sub>5</sub>
3	Fosfatos
4	Nitratos
5	pH
6	Temperatura

Para el caso de predios ubicados sobre acuíferos de vulnerabilidad baja, se recomienda la realización de una campaña anual de monitoreo.

### **Procedimiento de Muestreo**

A continuación se entrega una serie de recomendaciones para realizar el muestreo de agua, tanto superficial como subterránea, que los productores deberán realizar en sus programas de autocontrol. Estas recomendaciones deberán ser complementadas con las instrucciones específicas dadas por los laboratorios que procesen las muestras.

### **Toma de muestras**

El objetivo del muestreo es lograr obtener una muestra de agua que sea representativa de la calidad del cuerpo de agua que se quiere evaluar. Para esto se deben cuidar los siguientes aspectos:

- a. Al momento de tomar la muestra se debe evitar el introducir algún tipo de contaminante adicional al agua que se evaluará.
- b. La muestra debe ser conservada y transportada, asegurando que no se produzcan alteraciones significativas en su calidad.
- c. Siempre se debe medir en terreno la temperatura del agua.

Cada vez que se realice un muestreo deberá llenarse la ficha de muestreo que se muestra más adelante.

### **Aguas superficiales**

En el caso de aguas superficiales se debe tomar una muestra siguiendo las siguientes recomendaciones:

- El equipo de toma de muestras, preferiblemente deberá ser un balde o un recipiente, especialmente acondicionado para esta función. El balde deberá estar limpio y libre de elementos extraños adheridos a él. Antes de tomar la muestra, el balde deberá ser enjuagado prolijamente, al menos tres veces, cuidando de que el agua de enjuague no se mezcle en el agua a controlar.
- La toma de muestra se hará cuidando de realizar un mezclado del agua a controlar, para ello se debe desplazar el balde, tanto horizontal como verticalmente al momento de tomar la muestra.
- Si la toma de muestra se realiza mediante bombeo, se debe cuidar de la limpieza de las tuberías y de la bomba. Se deberá bombear al menos por cinco minutos, antes de tomar la muestra.

### **Aguas subterráneas**

- El muestreo de aguas subterráneas deberá realizarse en los pozos de observación especialmente contruidos para el autocontrol.
- Se deberá cuidar de que el equipo que se utilice para el muestreo, esté limpio y no altere la calidad del agua muestreada. Se deberán evitar los sistemas que introducen aire para bombear, pues alteran la concentración de los parámetros de control.
- Antes de muestrear se deberá extraer toda el agua existente en el pozo, para poder así tomar una muestra que represente la calidad del agua existente en el acuífero. La extracción del agua, debe realizarse lentamente para no introducir alteraciones al agua subterránea.

## **Envases**

- Se recomienda el uso de envases de vidrio. Estos envases deberán estar limpios. Se aconseja que el propio laboratorio entregue los envases para el muestreo.
- El tamaño de los envases deberá ser consultado con el laboratorio de la técnica utilizada para los análisis cada laboratorio requerirá de un volumen mínimo de muestra.
- Para cada muestreo se requiere de cinco envases, de acuerdo a lo siguiente:
  - 1° envase para DBO<sub>5</sub>, pH, sólidos disueltos y turbidez
  - 2° envase para coliformes fecales
  - 3° envase para nitratos
  - 4° envase para fosfatos
  - 5° envase para oxígeno disuelto

## **Preservación y transporte de las muestras.**

De acuerdo a la normativa vigente se recomiendan los siguientes procedimientos para la preservación y transporte de las muestras:

- La temperatura debe ser medida en terreno, con un termómetro que se sumerge en la muestra recién obtenida.
- El tiempo de transporte de las muestras, tomado desde el momento de muestreo hasta el análisis no debe ser superior a 24 horas.
- Se recomienda medir en terreno el pH, el oxígeno disuelto y la turbidez.
- Para el transporte a laboratorio se recomiendan las siguientes medidas de preservación:

**Tabla 6.5. Medidas de preservación y transporte a laboratorio de las muestras. (Sólo de carácter referencial, se deberá consultar al laboratorio que analice las muestras por las medidas específicas a tomar).**

Parámetro	Medidas de preservación y transporte
Coliformes fecales	Se deberá usar un envase estéril. Durante el transporte las muestras deberán mantenerse refrigeradas
DBO <sub>5</sub>	Almacenar en la oscuridad. Durante el transporte las muestras deberán mantenerse refrigeradas
Fosfatos	La muestra deberá ser filtrada en terreno. Durante el transporte las muestras deberán mantenerse refrigeradas
Nitratos	Acidificar la muestra con ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) a un pH menor a dos
Oxígeno disuelto	Medir la temperatura del agua en terreno y almacenar en la oscuridad. Durante el transporte las muestras deberán mantenerse refrigeradas
pH	Durante el transporte las muestras deberán mantenerse refrigeradas.
Sólidos disueltos	
Turbidez	Se recomienda medir en terreno

### **Laboratorios de análisis**

Para la selección del laboratorio donde se realicen los análisis se deben considerar los siguientes aspectos:

- Cercanía del Laboratorio con el lugar donde se tomen las muestras
- Respaldo institucional y acreditación de los laboratorios

Se recomienda consultar a la oficina correspondiente del Servicio Agrícola y Ganadero, para seleccionar el Laboratorio donde se analizaran las muestras.

## FICHA DE PUNTO DE CONTROL

<b>Identificación del Punto de Control:</b>		
Coordenadas UTM <b>Datum:</b>	Este:	Norte:
Parámetros a controlar		
<b>Descripción y croquis de la ubicación del punto</b>		

## FICHA DE MUESTREO

**Fecha:**

**Operario:**

**Hora:**

**Predio**

--

**Punto de control**

--

*Tipo de muestreo*

Aguas superficiales	Desagüe	Estero	Laguna	Otro
Aguas subterráneas		Dren	Puntera	Vertiente

*Ubicación (Coordenadas UTM)*

Este	Norte:	Datum:
------	--------	--------

**Método de muestreo**

--

**Descripción de la muestra**

--

**Métodos de preservación**

--

**Método de almacenamiento de la muestra**

--

Mediciones realizadas en terreno		Comentarios
Fosfatos		
Nitratos		
Oxígeno disuelto		
pH		
Sólidos disueltos		
Temperatura		
Turbidez		

## **Comparación de metodologías para evaluar vulnerabilidad**

En la literatura especializada es posible encontrar múltiples metodologías para evaluar la vulnerabilidad de un sistema de aguas subterráneas (Espinoza y Ramírez, 2002). Sin embargo, la mayor parte de estas metodologías apuntan a evaluaciones de vulnerabilidad realizadas a una escala regional y no entregan información detallada a escala local. El problema que enfrenta la aplicación de la NERLAS es que el impacto provocado por la infiltración de un RIL en un acuífero es de carácter local.

Por otro lado, las diferentes metodologías para evaluar vulnerabilidad no necesariamente entregan resultados similares (Coello y Galárraga, 2002). Por ello es necesaria la implementación de una metodología oficial, labor que, en Chile, realiza la Dirección General de Aguas (DGA) mediante el desarrollo del “*Manual Para la Aplicación del Concepto de Vulnerabilidad de Acuíferos*” en la Norma de Emisión a Aguas Subterráneas, Decreto Supremo N°46 de 2002. Este manual fue aprobado mediante Resolución Exenta de la DGA N° 599 del 17 de mayo del 2004.

La propuesta de la DGA, consiste en aplicar la metodología BGR, desarrollada por el Instituto Federal para las Geociencias y los Recursos Naturales de Alemania (Espinoza y Ramírez, 2002). Esta propuesta tendrá carácter oficial y será mandatorio para la evaluación de vulnerabilidad en un sistema de aguas subterráneas.

El proyecto 57-14-100, independientemente de la propuesta de la DGA, la que no era oficial al momento del desarrollo de este proyecto, contrastó la aplicación de la metodología propuesta por la DGA con otras dos metodologías factibles de ser usadas para evaluar, a escala local, la vulnerabilidad de un acuífero ubicado bajo una explotación agrícola. Las metodologías contrastadas fueron:



- a. Método GODS
- b. Método AVI
- c. Método BGR según manual DGA

### **Método GODS**

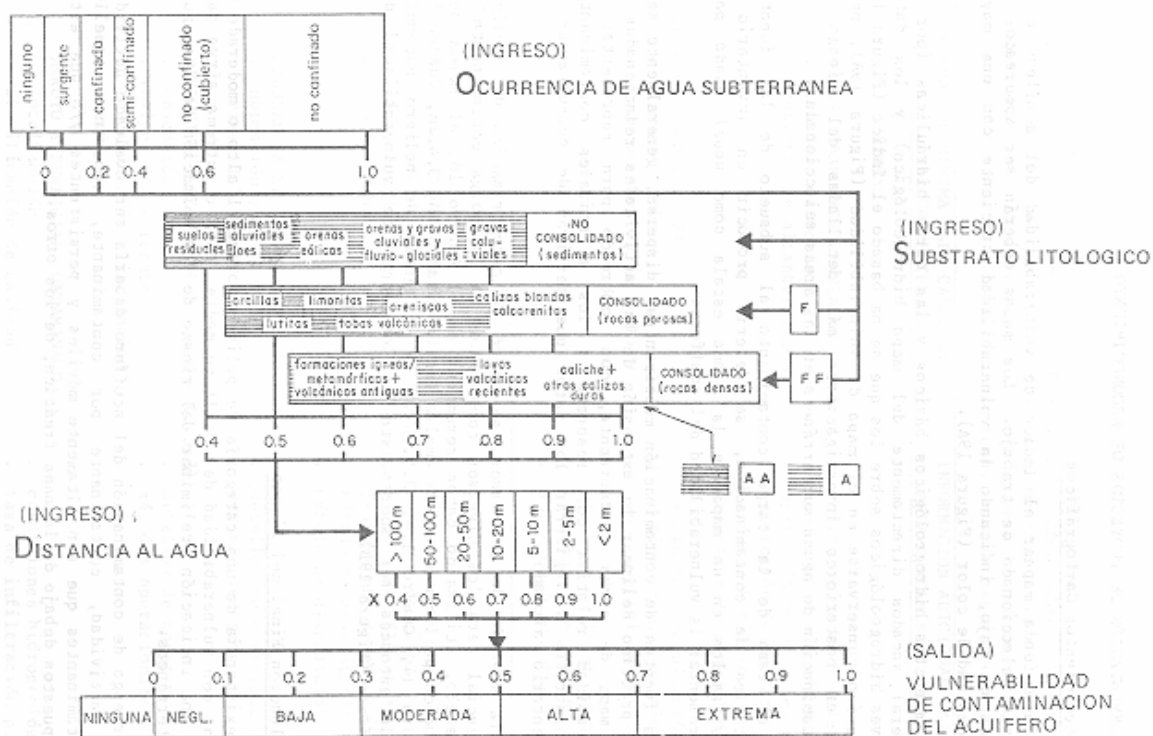
Este método fue propuesto inicialmente por Foster e Hirata (1988) y consiste en la creación de un índice de vulnerabilidad especialmente desarrollado para zonas con escasa información. Inicialmente el índice se calculaba mediante la multiplicación de tres parámetros:

$$I = G \cdot O \cdot D$$

Donde:

- G (Groundwater occurrence) – Corresponde a un parámetro que representa el tipo de acuífero que es evaluado.
- (Overlying lithology) – Representa la litología de la zona no saturada.
- D (Depth to groundwater) – Representa la profundidad del agua subterránea.

Para la aplicación de este método se debe utilizar la figura 6.3 (Foster e Hirata, 1998).



**Figura 6.3. Diagrama de flujo para la aplicación del Método GOD (Foster e Hirata 1988).**

Para incluir el efecto que tiene el suelo sobre la protección del sistema de aguas subterráneas se incorpora el parámetro  $S$ , que representa las características del suelo en donde debe infiltrar un contaminante (Coello y Galárraga, 2002; González y González, 2003). El parámetro se evalúa utilizando el criterio indicado en la siguiente tabla.

Textura	Factor del suelo ( $S$ )
Franco Arcillosa	0.6
Franco arcillosa – arenosa	0.7
Franco arenosa	0.8

Finalmente el índice de vulnerabilidad es definido por el producto de los cuatro parámetros:

$$I = G \cdot O \cdot D \cdot S$$

### **Método AVI**

Este método consiste simplemente en una estimación del tiempo de residencia de un contaminante en la zona no saturada, bajo el supuesto de que este viaja en forma vertical (Coello y Galárraga, 2002; Espinoza y Ramírez, 2002). Para esto se estima un parámetro llamado Resistencia Hidráulica (C) mediante la siguiente expresión:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{K_i}$$

Donde:

- N: número de estratos identificados en la zona no saturada
- Di: espesor del estrato i-ésimo
- Ki: Conductividad hidráulica del estrato i-ésimo

### **Método BGR según manual DGA**

Para la aplicación del Método BGR, de acuerdo a las instrucciones de la DGA, se debe medir el nivel freático, en la zona a evaluar, durante la primavera. Lo anterior se debe al hecho de que durante dicha estación el nivel freático está más cerca de la superficie.

Además se deben realizar una serie de calicatas que permitan caracterizar la composición y los perfiles estratigráficos del suelo no saturado en la zona en estudio.

Para aplicar este método se deben evaluar cinco parámetros:

1. Capacidad de Campo efectiva del primer metro de la columna de suelo no saturado ubicada sobre el nivel freático. Este parámetro se obtiene a partir de exploraciones realizadas en calicatas

2. Tasa de percolación, se debe evaluar tanto la recarga natural como la recarga artificial que percola al acuífero.
3. Composición de la zona no saturada y el suelo orgánico
4. Espesor de la zona no saturada
5. Condiciones de acuíferos artesianos

A cada parámetro se le asigna un puntaje de acuerdo a tablas de referencia publicadas en el Manual de la DGA. La suma de los puntajes entrega el índice de vulnerabilidad que se clasifica en los siguientes rangos: Alta, media y Baja.

### **Evaluación de la vulnerabilidad**

En la tabla siguiente se presenta una uniformización de los índices de vulnerabilidad agrupados de acuerdo al criterio de definir vulnerabilidades altas, media y bajas.

Evaluación de Vulnerabilidad	GODS	AVI	BGR DGA
Despreciable	0 – 0,2	> 10.0000	> 4.000
Baja	0,2 – 0,4	1.000-10.000	2.000 – 4.000
Moderada	0,4 – 0,6	100-1.000	1.000 – 1.999
Alta	0,6 – 0,8	10-100	500 – 999
Extrema	0,8 – 1,0	< 10	< 500

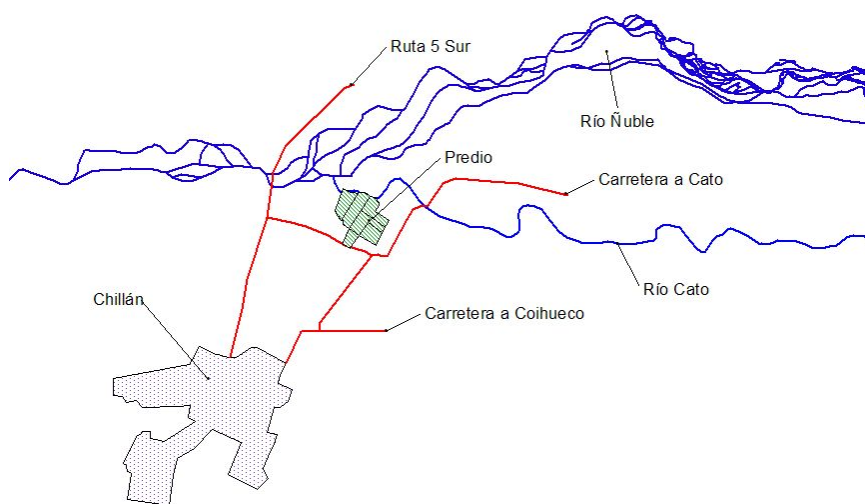
### **Aplicación de los sistemas propuestos, bajo condiciones locales.**

Para evaluar la aplicabilidad, el nivel de los resultados, la compatibilidad de éstos con la realidad, la facilidad de aplicación de los métodos y el nivel de discriminación entre áreas, se desarrolló

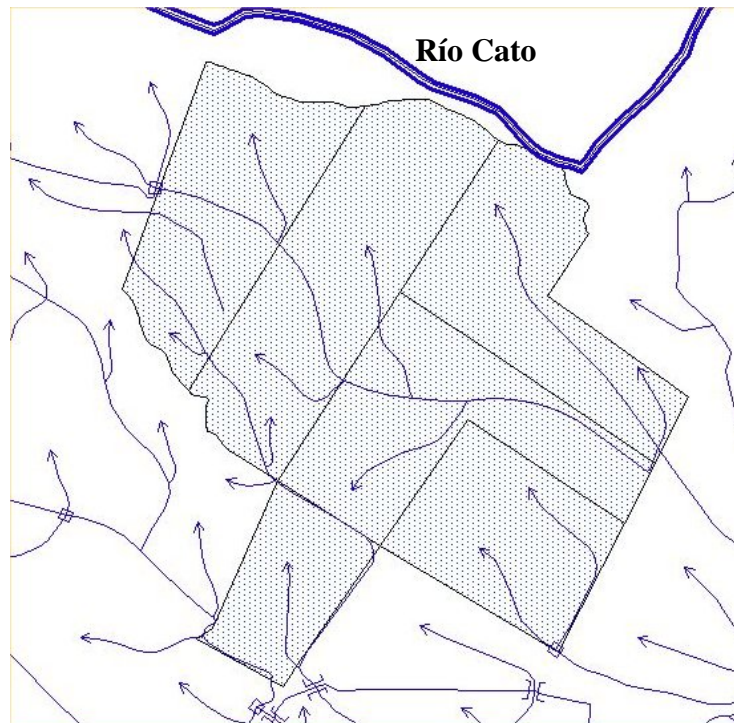
un análisis comparativo usando los tres métodos a dos planteles, uno ubicado en la VIII región y otro en la VI región.

### PLANTEL VIII REGIÓN

El primer predio en estudio correspondió a un plantel ubicado en las cercanías del río Ñuble. Administrativamente el predio se encuentra ubicado en la Comuna de Chillán, Octava Región (figura 6.4). Desde el punto de vista del drenaje de las aguas superficiales, el predio es cruzado por una red de canales de riego, muchos de los cuales son de antigua data. La forma de la red de drenaje permite inferir que el sector norte del predio drena hacia río Cato (Figura 6.5).



**Figura 6.4.** Ubicación del predio en estudio.



**Figura 6.5. Canales de riego que atraviesan el predio**

### **Antecedentes Geológicos**

Geológicamente el predio está ubicado en el límite norte de un relleno aluvial formado por el río Chillán. Este relleno tiene como características principales el estar constituido por un material gravo-arenoso, de un espesor de hasta 100 metros y de una pendiente cercana al 0,5% (Pro Itata, 1992).

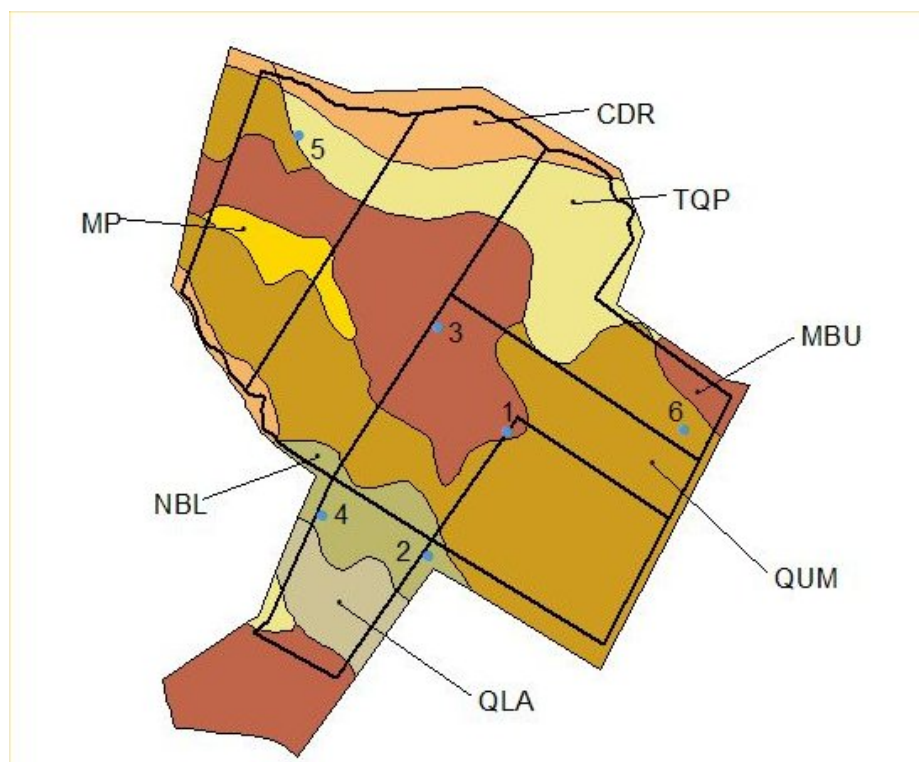
En general, en la zona de emplazamiento del predio se puede esperar la existencia de un acuífero superior, con una profundidad del nivel freático de entre 1 a 3 metros, semi-confinado por una capa de 20 centímetros de material consolidado de origen volcánico (Tosca). Pruebas realizadas en terreno demostraron que la presión hidráulica que el acuífero ejerce sobre la capa semi confinante no es significativa, pues es del orden de centímetros.

A escala regional, la dirección general del flujo de aguas subterráneas tiende a ser paralela a la red de drenaje superficial definida por el río Ñuble. Sin embargo, a la escala local, correspondiente al predio, el acuífero superficial drena hacia el río Cato.

## Suelos

De acuerdo a la información existente en la cartografía de suelos elaborada por el Centro de Investigación de Recursos Naturales (Ciren). En el predio se pueden identificar 12 series de suelos (Figura 6.6). En la tabla 6.6 se presentan las series y algunas de sus características:

Durante el mes de noviembre del año 2003 se realizó una campaña de terreno en la que se realizaron 6 calicatas distribuidas en el predio. En cada calicata se describió el perfil estratigráfico encontrado y se midió la profundidad del nivel freático (Tablas 6.7 y 6.8).



**Figura 6.6.** Series de suelos identificadas en el predio, y calicatas realizadas

**Tabla 6.6. Serie de suelos existentes en el plantel de la VIII región y sus características principales (CNR, 1987).**

Serie	Símbolo	Características de profundidad	Textura
Mebuca	Mbu	Moderadamente profundo	Franco
Niblinto	Nbl	Moderadamente profundo	Arcilla
Quella	Qla	Moderadamente profundo	Arcillosa
Quilmen	Qum	Moderadamente profundo	Franco arcillosa
Talquipen	Tqp	Moderadamente profundo	Franco

**Tabla 6.7. Ubicación calicatas y profundidad del nivel freático medido en octubre 2003.**

Calicata	Coordenadas UTM, Huso 18, PSAD 56		Profundidad Nivel Freático	Serie de suelo que representa
	Este	Norte	metros	
1	762896	5950074	2.0	MBU
2	762677	5949732	3.3	No
3	762707	5950358	1.1	MBU
4	762384	5949840	3.1	NBL – QLA
5	762320	5950888	2.0	TQP
6	763381	5950077	1.1	QUM

**Tabla 6.8. Granulometría para cada horizonte encontrado en las calicatas.**

Calicata	Horizonte	Profundidad cm	Porcentaje			Textura USDA
			Arcilla	Limo	Arena y grava	
1	1	0-55	24	35	41	Franco
1	2	55-65	9	39	52	Franco arenoso
1	3	65-180	12	25	63	Franco arenoso
1	4	180-210	18	45	37	Franco
2	1	0-50	7	64	29	Franco limoso
2	2	50-100	26	33	40	Franco
2	3	100-120	8	15	77	Arena
3	1	0-30	23	46	31	Franco
3	2	30-70	9	23	68	Franco arenoso
3	3	70-130	4	19	77	Arena
4	1	0-50	51	33	16	arcilla
4	2	50-110	19	20	62	Franco arenoso
4	3	110-150	10	52	38	Franco limoso
4	4	150-330	5	12	83	Arena
5	1	0-30	29	38	32	Franco arcilloso
5	2	30-110	4	37	59	Franco arenoso
5	3	110-400	3	17	80	Arena
6	1	0-30	32	31	38	Franco arcilloso
6	2	30-75	21	43	36	franco
6	3	75-100	9	49	41	Franco limoso
6	4	100-140	4	31	65	Franco arenoso
6	5	140-	4	27	70	Arena



En la tabla 6.9 se presentan los valores de conductividad hidráulica saturada (Ks), capacidad de campo (CC) y Densidad efectiva de sedimentación para cada tipo de suelo encontrado en las calicatas.

**Tabla 6.9. Parámetros hídricos de los suelos del plantel**

Calicata	Horizonte	Parámetros hídricos		
		Ks [cm/hr]	CC %	Bd [gr/cm <sup>3</sup> ]
1	1	0.48	27.0	1.40
	2	2.60	21.6	1.56
	3	1.74	20.0	1.54
	4	0.94	26.0	1.43
3	1	0.61	28.4	1.38
	2	2.72	18.3	1.59
	3	5.40	15.2	1.70
4	1	0.18	44.3	1.23
	2	0.69	22.2	1.47
	3	2.29	24.7	1.52
	4	6.14	14.0	1.71
5	1	0.35	30.5	1.35
	2	4.15	19.6	1.66
	3	5.78	14.6	1.21
6	1	0.26	30.6	1.34
	2	0.69	26.9	1.40
	3	2.54	24.1	1.54
	4	4.49	18.1	1.68
	5	4.80	16.8	1.69

### **Análisis de vulnerabilidad**

El análisis se realizó evaluando la vulnerabilidad, en las cinco calicatas que representan los suelos existentes en el predio. La calicata número dos fue desechada, pues su estratigrafía no era representativa, ya que fue excavada en una zona que presentó alteraciones antrópicas (rellenos).

## Método GODS

Para aplicar esta metodología se utilizó como criterio conservador el despreciar el efecto semi confinante que produce, en forma localizada, una capa de material consolidado detectada en algunas calicatas. Considerando lo anterior, y usando la figura 6.4, el índice G (groundwater occurrence) fue evaluado como el correspondiente a la existencia de un acuífero libre ( $G = 0.9$ ). El índice O, correspondiente al tipo de sustrato litológico ubicado sobre el acuífero fue evaluado considerando que es un relleno aluvial y fluvioglacial ( $O = 0.7$ ). La profundidad del nivel freático y la textura del primer horizonte de suelo fueron medidas y caracterizado respectivamente para cada calicata.

**Tabla 6.10. Aplicación del índice GODS**

Calicata	G (Tipo de acuífero)	O Sustrato litológico	D Profundidad Nivel freático	S Tipo de Suelo	GODS	Vulnerabilidad
1	0.9	0.7	1.0	0.7	0.44	Moderada
3	0.9	0.7	1.0	0.7	0.44	Moderada
4	0.9	0.7	0.9	0.6	0.34	Moderada
5	0.9	0.7	1.0	0.6	0.38	Moderada
6	0.9	0.7	1.0	0.6	0.38	Moderada

## Método AVI

Para calcular el índice de vulnerabilidad usando el método AVI, se calculó la conductividad hidráulica para cada horizonte identificado en las calicatas:

**Tabla 6.11. Aplicación del índice AVI**

Calicata	Profundidad [cm]	$\frac{d_i}{K_i}$	Vulnerabilidad
1	55	114.58	moderada
	10	3.85	
	115	66.09	
	30	31.91	
	<b>AVI</b>	216.44	
3	30	49.18	alta
	40	14.71	
	60	11.11	
	<b>AVI</b>	75.00	
4	50	277.78	moderada
	60	86.96	
	40	17.47	
	180	29.32	
	<b>AVI</b>	411.52	
5	30	85.71	moderada
	80	19.28	
	390	67.47	
	<b>AVI</b>	172.47	
6	30	115.38	moderada
	45	65.22	
	25	353.07	
	40	8.91	
	100	20.83	
	<b>AVI</b>	563.41	

## Método BGR - DGA

En la tabla siguiente se presenta el cálculo del índice de vulnerabilidad BGR para cada calicata considerada.

**Tabla 6.12. Aplicación Método BGR-DGA.**

Calicata	Horizonte	Parámetros BGR-DGA				P1 = S•W	P2 = Ru•T	Índice P1+P2
		S	W	Ru	T			
1	1		0.75	150	0.55	375.00	74.81	449.81
1	2			50	0.10			
1	3	<b>500.00</b>		35	0.35			
1	4			130				
3	1		0.75	140	0.30	375.00	52.13	427.13
3	2			50	0.40			
3	3	<b>500.00</b>		25	0.30			
4	1		0.75	270	0.50	562.50	182.25	744.75
4	2			50	0.60			
4	3	<b>750.00</b>		120	0.40			
4	4			20	1.50			
5	1		0.75	150	0.30	375.00	77.25	452.25
5	2			50	0.80			
5	3	<b>500.00</b>		20	0.90			
6	1		0.75	150	0.30	562.50	99.75	662.25
6	2			140	0.45			
6	3	<b>750.00</b>		100	0.25			
6	4			35				
6	5			20				

Para cada una de las calicatas el índice BGR-DGA indica una vulnerabilidad extrema.

## Comparación de resultados

En la tabla siguiente, se presenta una comparación de los resultados de vulnerabilidad obtenidos para cada calicata.

Calicata	Valor de Vulnerabilidad		
	GODS	AVI	BGR-DGA
1	Moderada	Moderada	Alta
3	Moderada	Alta	Alta
4	Moderada	Moderada	Alta
5	Moderada	Moderada	Alta
6	Moderada	Moderada	Alta

Como el método BGR-DGA es el método de análisis de vulnerabilidad requerido por la Dirección General de Aguas se considera como oficial, por lo que se tratará al plantel de la VIII región, sobre el que se hizo el estudio, como un predio ubicado sobre un acuífero de alta vulnerabilidad.

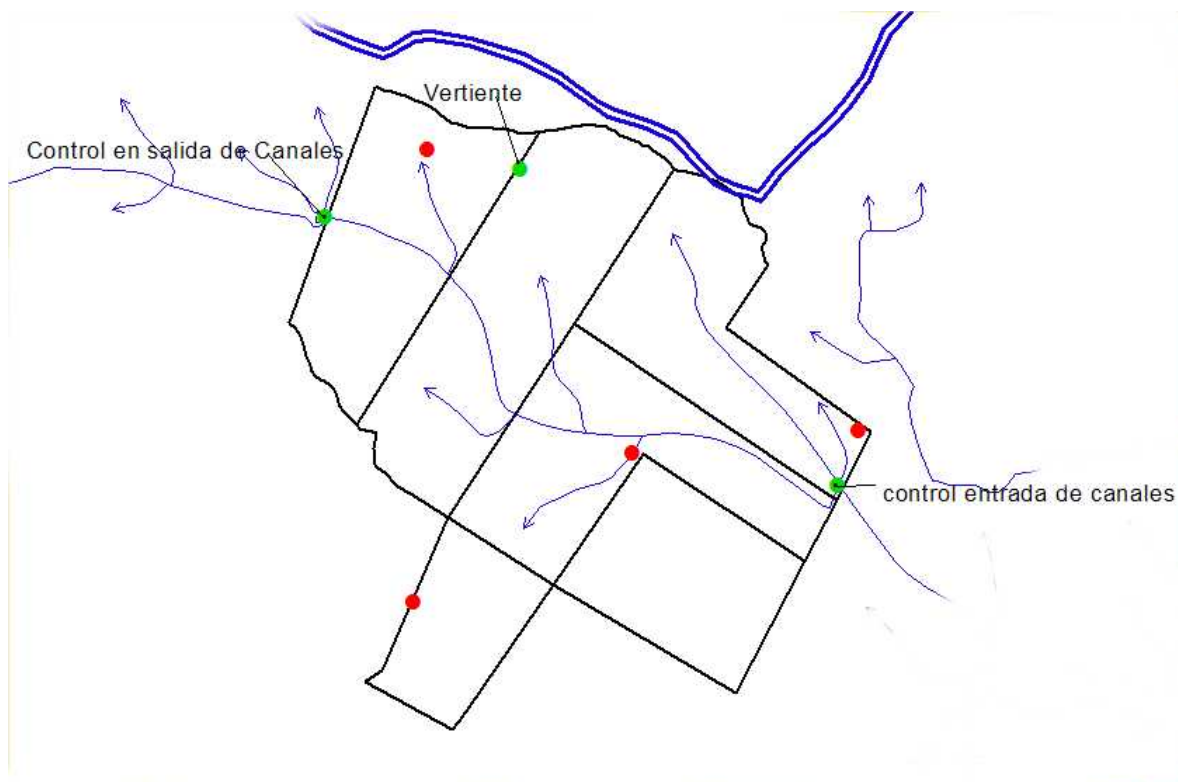
## Diseño del sistema de Monitoreo

### Ubicación de los puntos de control

Siguiendo las recomendaciones de la tabla 6.1, para el plantel de la VIII región se dispusieron cuatro punteras, dos ubicadas en sectores aguas abajo de la aplicación de purines, una en el centro del predio y una ubicada aguas arriba. Además se deberán considerar tres puntos de control para aguas superficiales: una salida de canales, la entrada de estos canales y una vertiente que drena hacia el río Cato.

## Recomendaciones de monitoreo

De acuerdo a las recomendaciones de la tabla 6.2, se recomienda realizar una campaña de muestreo cuatrimestral en cada punto de control.



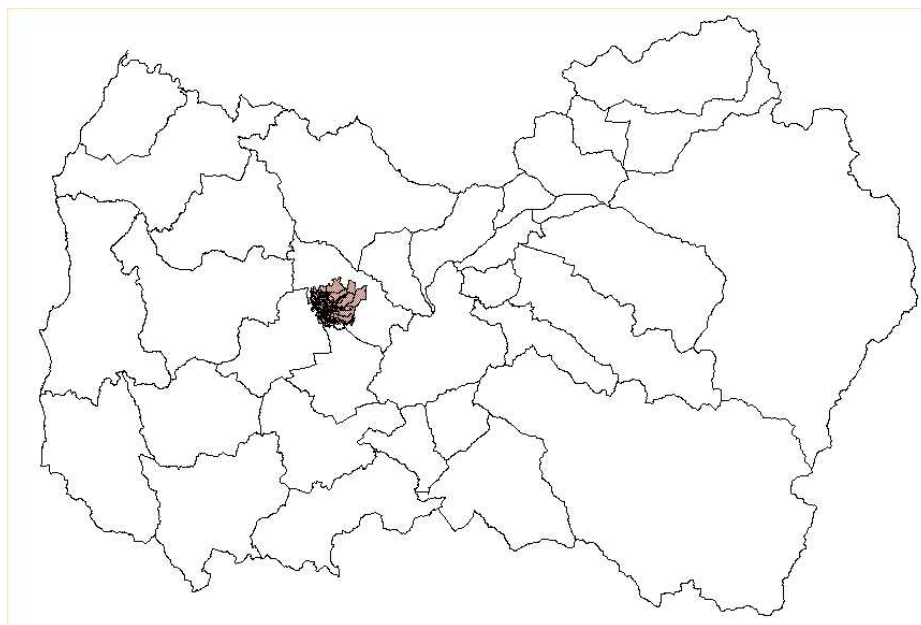
**Figura 6.7.** Ubicación de los puntos de control propuestos para el plantel de la VIII región. Los puntos rojos corresponden a punteras y los verdes a puntos de control de aguas superficiales.

## PLANTEL VI REGIÓN

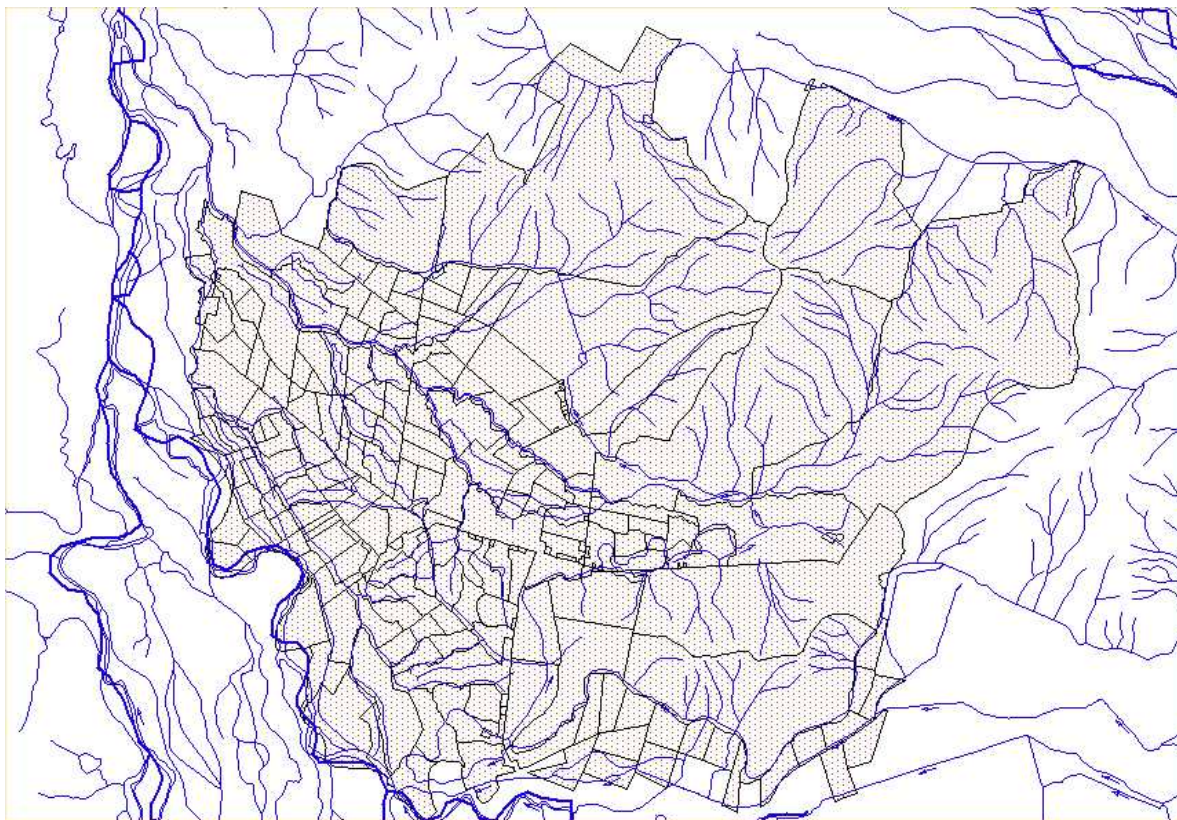
### Descripción

El segundo predio en estudio corresponde a un plantel y predio ubicado en la comuna de Pichidegua, VI Región (figura 6.8).

Desde el punto de vista del drenaje de las aguas superficiales, el predio está inserto en la red de drenaje del río Tinguiririca. El predio es cruzado por una red de canales de riego, muchos de los cuales son de antigua data. La forma de la red de drenaje permite inferir que el sector norte del predio drena hacia río Tinguiririca (figura 6.9).



**Figura 6.8.** Ubicación del predio en estudio en la VI Región



**Figura 6.9. Canales de riego que atraviesan el predio**

### **Antecedentes Geológicos**

El predio está ubicado en un valle de la Cordillera de la Costa, la parte norte corresponde a laderas de cerros pertenecientes a esta unidad y la parte sur a un valle formado por rellenos cuaternarios.

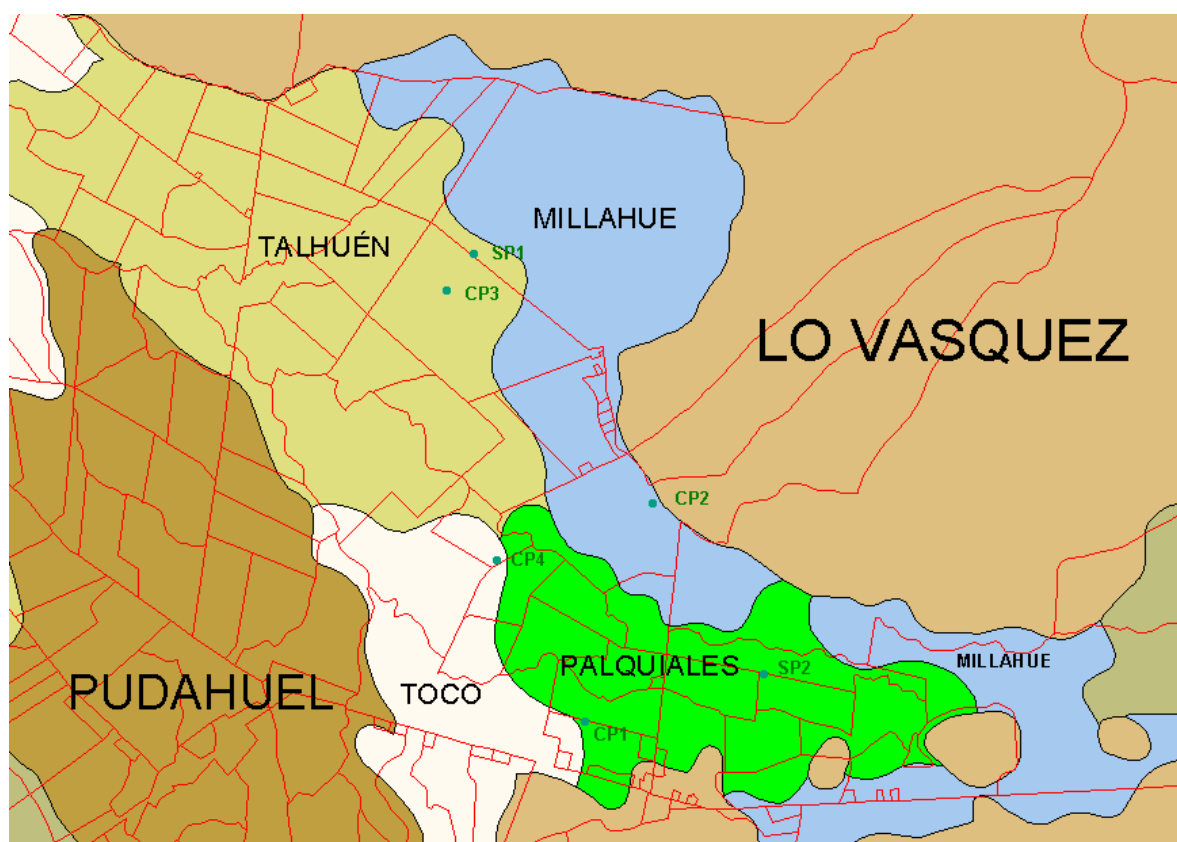
En general, en las zonas planas del predio, que coinciden con los depósitos cuaternarios, es posible esperar las formaciones acuíferas típicas de la Cordillera de la Costa: acuíferos formados por material arenoso limoso, de permeabilidad media a baja y con una profundidad del nivel freático cercana a la superficie.



## Suelos

De acuerdo a la información existente en la cartografía de suelos elaborada por el Centro de Investigación de Recursos Naturales (Ciren). En el predio se pueden identificar 6 series de suelos (figura 6.10).

Durante el mes de noviembre del año 2003 se realizó una campaña de terreno en la que se realizaron 6 calicatas distribuidas en el predio. En cada calicata se describió el perfil estratigráfico encontrado y se midió la profundidad del nivel freático (tablas 6.13 y 6.14).



**Figura 6.10.** Series de suelos identificadas en el predio, y calicatas realizadas.

**Tabla 6.13. Ubicación calicatas y profundidad del nivel freático medido en octubre 2003.**

Calicata	Coordenadas UTM, Huso 18, PSAD 56		Profundidad Nivel Freático
	Este	Norte	metros
CP1	282684	6191398	1.15
CP2	283066	6192613	> 1.50
CP3	281920	6193793	0.85
CP4	282203	6192291	1.05
SP1	282077	6193992	0.48
SP2	283686	6191656	1.11

**Tabla 6.14. Granulometría para cada horizonte encontrado en las calicatas.**

N° Ingreso	Identificación Muestra	Tamaño y diámetro de partículas (mm) Método hidrómetro - Bouyoucos			Clase de Textura
		% Arena 2-0,05 mm	% Limo 0,05-0,002 mm	% Arcilla < 0,002 mm	
6702	CP2 0 – 15	58.1	28.9	13.0	Franco Arenoso
6703	CP2 15 – 35	66.1	17.0	16.9	Franco Arenoso
6704	CP2 35 – 90	58.3	52.2	9.5	Franco Arenoso
6705	SP1 0 – 20	36.9	44.9	18.2	Franco Limoso
6717	SP1 20 – 60	10.3	60.3	29.4	Franco Limoso
6706	SP1 60 – 85	27.0	45.9	27.1	Franco Limoso
6707	CP1 150 – 300	59.0	24.3	16.7	Franco Arenoso
6708	CP1 0 – 25	29.3	57.1	35.6	Franco Arcilloso
6709	CP1 25 – 70	26.6	45.6	27.8	Franco
6710	CP1 70 – 115	47.2	35.1	17.7	Franco
6711	CP3 0 – 20	50.3	39.9	9.80	Franco
6712	CP3 20 – 38	84.1	14.1	1.80	Arena Franco
6713	CP3 38 – 60	60.8	33.9	5.30	Franco Arenoso
6714	CP3 60 – X	10.3	67.2	22.5	Franco Limoso
6715	CP4 0 – 20	21.2	52.2	26.6	Franco Limoso
6716	CP4 20 – 48	24.7	43.1	32.2	Franco Arcilloso
6718	SP2 0 – 25	29.8	42.4	27.8	Franco Arcilloso
6719	SP2 25 – 50	24.3	45.1	30.6	Franco Arcilloso
6720	SP2 50 – 75	23.8	41.7	34.5	Franco Arcilloso
6721	SP2 75 – 100	31.9	42.1	26.0	Franco

En la tabla 6.15 se presentan los valores de conductividad hidráulica saturada (Ks), capacidad de campo (CC) y Densidad efectiva de sedimentación para cada tipo de suelo encontrado en las calicatas.

**Tabla 6.15. Parámetros hídricos de los suelos.**

Identificación Muestra	Parámetros hídricos		
	Ks [cm/hr]	CC %	Bd [gr/cm <sup>3</sup> ]
CP2 0 – 15	0.19	48.4	1.21
CP2 15 – 35	0.17	48.6	1.21
CP2 35 – 90	0.20	48.9	1.20
SP1 0 – 20	0.27	36.6	1.28
SP1 20 – 60	2.38	43.3	1.50
SP1 60 – 85	0.45	30.5	1.35
CP1 150 – 300	0.17	48.1	1.21
CP1 0 – 25	0.33	29.8	1.36
CP1 25 – 70	0.45	30.3	1.35
CP1 70 – 115	0.18	41.9	1.25
CP3 0 – 20	0.21	44.7	1.22
CP3 20 – 38	0.23	50.0	1.19
CP3 38 – 60	0.23	50.0	1.19
CP3 60 – X	2.49	27.5	1.49
CP4 0 – 20	0.78	28.4	1.39
CP4 20 – 48	0.50	28.9	1.37
SP2 0 – 25	0.35	31.6	1.34
SP2 25 – 50	0.55	26.7	1.37
SP2 50 – 75	0.52	28.0	1.38
SP2 75 – 100	0.31	32.8	1.32

### **Análisis de vulnerabilidad**

El análisis se realizó evaluando la vulnerabilidad, en las seis calicatas que representan los suelos existentes en el predio.

### Método GODS

Usando la figura 1, el índice G (groundwater occurrence) fue evaluado como el correspondiente a la existencia de un acuífero libre ( $G = 0.9$ ). El índice O, correspondiente al tipo de sustrato litológico ubicado sobre el acuífero fue evaluado considerando que es un relleno aluvial ( $O = 0.7$ ). La profundidad del nivel freático y la textura del primer horizonte de suelo fue medido y caracterizado respectivamente para cada calicata.

**Tabla 6.16. Aplicación del índice GODS.**

Calicata	G (Tipo de acuífero)	O Sustrato litológico	D Profundidad Nivel freático	S Tipo de Suelo	GODS	Vulnerabilidad
CP2	0.9	0.7	1	0.8	0.504	Alta
SP1	0.9	0.7	1	0.8	0.504	
CP1	0.9	0.7	1	0.8	0.504	
CP3	0.9	0.7	1	0.8	0.504	
CP4	0.9	0.7	1	0.8	0.504	
SP2	0.9	0.7	1	0.8	0.504	

## Método AVI

Para calcular el índice de vulnerabilidad usando el método AVI, se calculó la conductividad hidráulica para cada horizonte identificado en las calicatas:

**Tabla 6.17. Aplicación del índice AVI.**

Calicata	Profundidad [cm]	$\frac{d_i}{K_i}$	AVI	Vulnerabilidad
CP2	15	78.95		
	20	117.65		
	55	275.00	471.59	Moderada
SP1	20	74.07		
	40	16.81		
	25	55.56	146.44	Moderada
CP1	150	882.35		
	25	75.76		
	45	100.00		
	45	250.00	1308.11	Baja
CP3	20	95.24		
	18	78.26		
	22	95.65		
	55	22.09	291.24	Moderada
CP4	20	25.64		
	28	56.00	81.64	Alta
SP2	25	71.43		
	25	45.45		
	25	48.08		
	36	116.13	281.09	Moderada

## Método BGR - DGA

En la tabla siguiente se presenta el cálculo del índice de vulnerabilidad BGR para cada calicata considerada.

**Tabla 6.18. Aplicación Método BGR-DGA.**

Calicata	Horizonte	Parámetros BGR-DGA				P1 = S•W	P2 = Ru•T	Índice P1+P2
		S	W	Ru	T			
CP2	1	750	0.75	300	0.15	562.5	204	767
	2			310	0.2			Alta
	3			300	0.55			
SP1	1	750	0.75	180	0.2	562.5	98.0625	660
	2			140	0.4			Alta
	3			155	0.25			
CP1	4		0.75	300	1.5	562.5	464.25	1027
	1	750		100	0.25			Moderada
	2			120	0.45			
CP3	4			200	0.45			
	1	750	0.75	270	0.2	562.5	154.2	717
	2			320	0.18			Alta
CP4	3			300	0.22			
	4			140	0.2			
	1	750	0.75	160	0.3	93.75	66.45	160
SP2	2			145	0.28			Extrema
	1	750	0.75	160	0.25	562.5	127.575	690
	2			150	0.25			Alta
	3			140	0.25			
	4			160	0.36			

## Comparación de resultados

En la siguiente tabla, se presenta una comparación de los resultados de vulnerabilidad obtenidos para cada calicata.

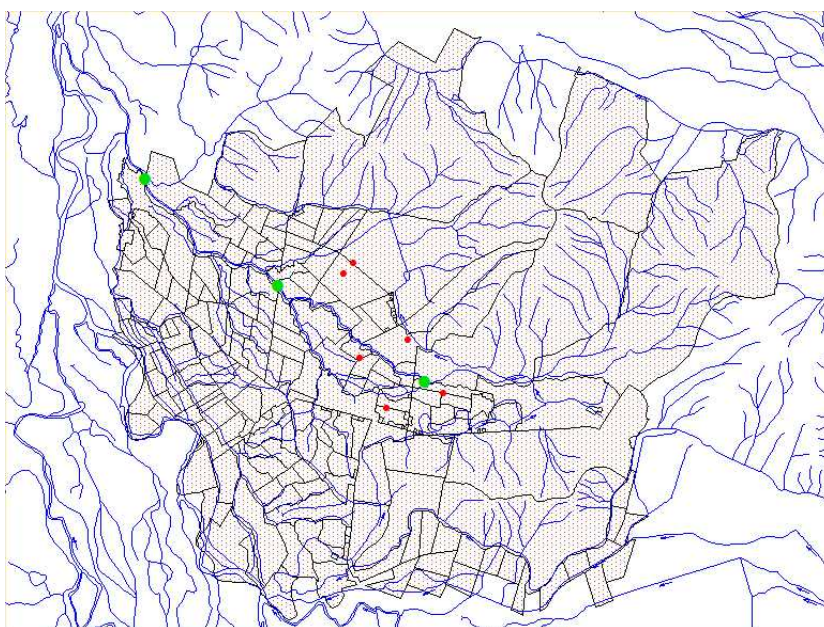
Calicata	Valor de Vulnerabilidad		
	GODS	AVI	BGR-DGA
CP2	Alta	Moderada	Alta
SP1	Alta	Moderada	Alta
CP1	Alta	Baja	Moderada
CP3	Alta	Moderada	Alta
CP4	Alta	Alta	Extrema
SP2	Alta	Moderada	Alta

Considerando que el método BGR-DGA como es el método de análisis de vulnerabilidad requerido por la Dirección General de Aguas se considera como oficial, por lo que se clasifica al predio de la VI Región, elegido para el análisis, como ubicado sobre un acuífero de alta vulnerabilidad.

### **Diseño del sistema de Monitoreo**

#### **Ubicación de los puntos de control**

Siguiendo las recomendaciones de la tabla 6.1, para el predio de la VI Región se dispusieron seis punteras, cuatro ubicadas en sectores aguas abajo de la aplicación de purines y dos ubicadas aguas arriba. Además se consideraron tres puntos de control para aguas superficiales: una salida de canales, la entrada de estos canales y un punto intermedio, de tal forma que se pueda observar la variación de calidad de agua a lo largo de un cauce que pasa por el centro del predio.



**Figura 6.11.** Ubicación de los puntos de control en el predio de Cato. Los puntos rojos corresponden a punteras y los verdes a puntos de control de aguas superficiales.

## **Recomendaciones de monitoreo**

De acuerdo a las recomendaciones de la tabla 6.2, se recomienda realizar una campaña de muestreo cuatrimestral en cada punto de control.

## **Comparación de los métodos de análisis de vulnerabilidad**

El método GODS fue desarrollado para el análisis de vulnerabilidad de un sistema acuífero a escala regional. El uso del método a escala predial esta muy sujeto al criterio del evaluador y por ello sus resultados son subjetivos y además es muy difícil diferenciar niveles de vulnerabilidad diferentes dentro del predio. Por lo anterior no se recomienda el uso de este método para el análisis de vulnerabilidad a escala predial.

El método AVI incorpora muy poca información, sin embargo está basado solamente en variables medidas en terreno, por lo que presenta la ventaja de eliminar la subjetividad y diferencia mejor los resultados entre las distintas calicatas efectuadas.

El método BGR-DGA también elimina la subjetividad e incorpora elementos como la recarga y la existencia de confinamiento. Sin embargo este método resulta demasiado conservador y genera resultados similares en las calicatas. Lo anterior se debe a que castiga fuertemente la presencia de niveles freáticos cercanos a la superficie.

Si bien es cierto el método BGR-DGA tiene carácter de oficial, es recomendable el uso de ambos métodos, pues el método AVI permite obtener una mejor distribución de la vulnerabilidad en el predio y entrega criterios para reducir el sesgo conservador del método BGR-DGA.



## Referencias

- Espinoza, C., J. Ramírez. 2002. Análisis comparativo de técnicas de evaluación de vulnerabilidad de acuíferos. Aplicación a la zona norte de la ciudad de Santiago. II Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: caracterización y evaluación. La Habana, Cuba, Abril 2002.
- CNR, Comisión Nacional de Riego. 1987. Estudio de suelos, proyecto Itata, Etapas 1 y 2. Consorcio Agrolog Chile S.A.- R&Q Ingenieros.
- Coello R. X., R. H. Galárraga, 2002. Metodologías para el análisis de la vulnerabilidad de acuíferos en medios urbanos, el caso de Quito, Ecuador. En Groundwater And Human Development. Bocanegra, E - Martínez, D - Massone, H (Eds.) 2002 - ISBN 987-544-063-9
- González. L.N., y A. E. González. Vulnerabilidad de los acuíferos semiconfinados multicapas en el Valle Central, Centro Sur de Chile. II Seminario-Taller. Protección de acuíferos frente a la contaminación: caracterización y evaluación. La Habana, Cuba, Abril 2002.
- Foster S., Hirata R., 1988. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, una metodología basada en datos existentes. Organización Panamericana de la Salud, CEPIS, Perú, 74 pp.
- Proitata 1992. Proyecto Itata, Estudio Hidrológico y Situación Actual Agropecuaria. Comisión Nacional de Riego, Santiago, Chile.

## **Monitoreo de puntos de control en planteles piloto**

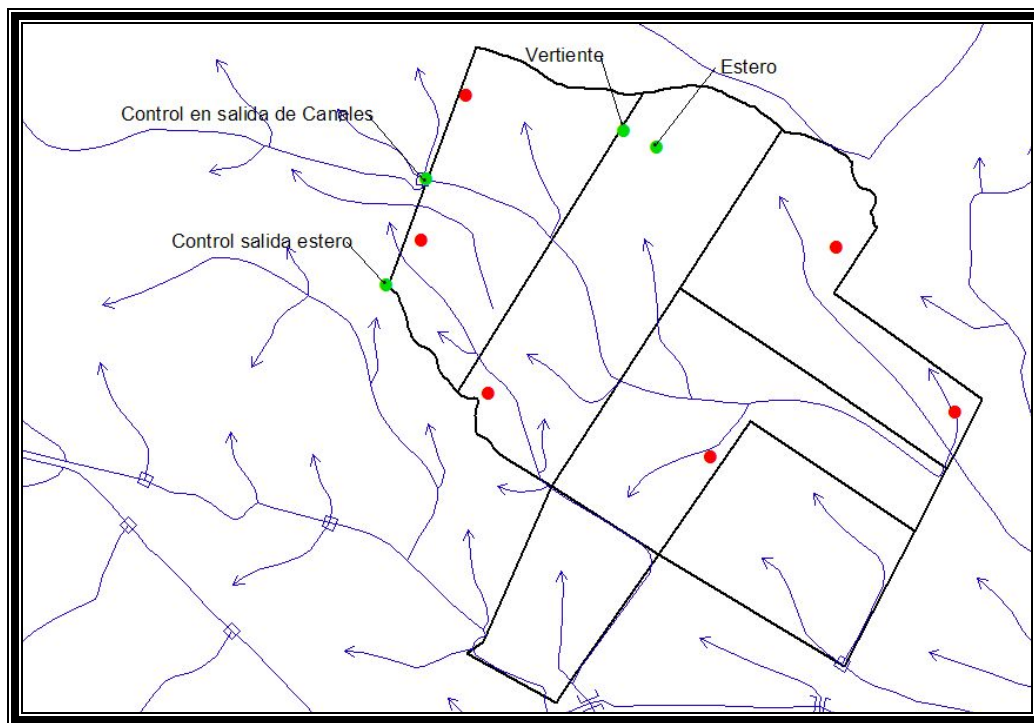
Según lo comprometido en el proyecto, se implementó a partir de diciembre de 2003, un plan de monitoreo ambiental de las aguas superficiales y subterráneas, de tipo piloto, en dos (2) planteles, uno de ellos ubicado en la VI región, y el otro en la VIII región, ambos predios analizados previamente en relación a la vulnerabilidad que presentaban.

Dada la naturaleza de la información a coleccionar, se estableció un compromiso de confidencialidad de la información, siendo los dueños de los planteles los receptores de los resultados obtenidos, dado que la idea fundamental del plan de monitoreo es obtener experiencia acerca de la factibilidad técnica de implementarlo, de la validez de los resultados y de la pertinencia en la ubicación de los puntos de control seleccionados.

En cada predio se perforaron pozos de observación en diferentes puntos de control (entre 4 y 6) y se tomaron muestras de aguas superficiales. Los puntos de control fueron establecidos en zonas sometidas a la aplicación de purines, como en zonas que no habían recibido aplicación.

Se realizaron, de acuerdo al análisis de vulnerabilidad, muestreos cuatrimestrales de agua, las cuales fueron analizadas, tanto in-situ, como en diferentes laboratorios, para los parámetros estipulados en el plan de monitoreo propuesto.

La figura siguiente muestra, a modo de ejemplo, la propuesta de monitoreo que se realizó para el predio de la VIII región, donde los puntos verdes corresponden a puntos de monitoreo de agua superficial, mientras que los rojos, punteras entre 2 y 4 metros de profundidad, donde se muestrearían aguas subsuperficiales con una intensidad cuatrimestral. Finalmente, se seleccionaron en este plantel, sólo 5 puntos de monitoreo, entre ellos 3 con aplicaciones de purín; 1 de vertiente superficial (sin aplicaciones) y 1 en una zona sin aplicaciones.



**Figura 6.12. Plano de selección de puntos de control para monitoreo plantel VIII Región.**

Para el plantel ubicado en la VI región, el plan piloto fue establecido con 2 pozos de observación en zonas sin aplicación de purines, y 4 pozos en áreas donde se realizaban aplicaciones frecuentes. La nomenclatura de los puntos es la siguiente:

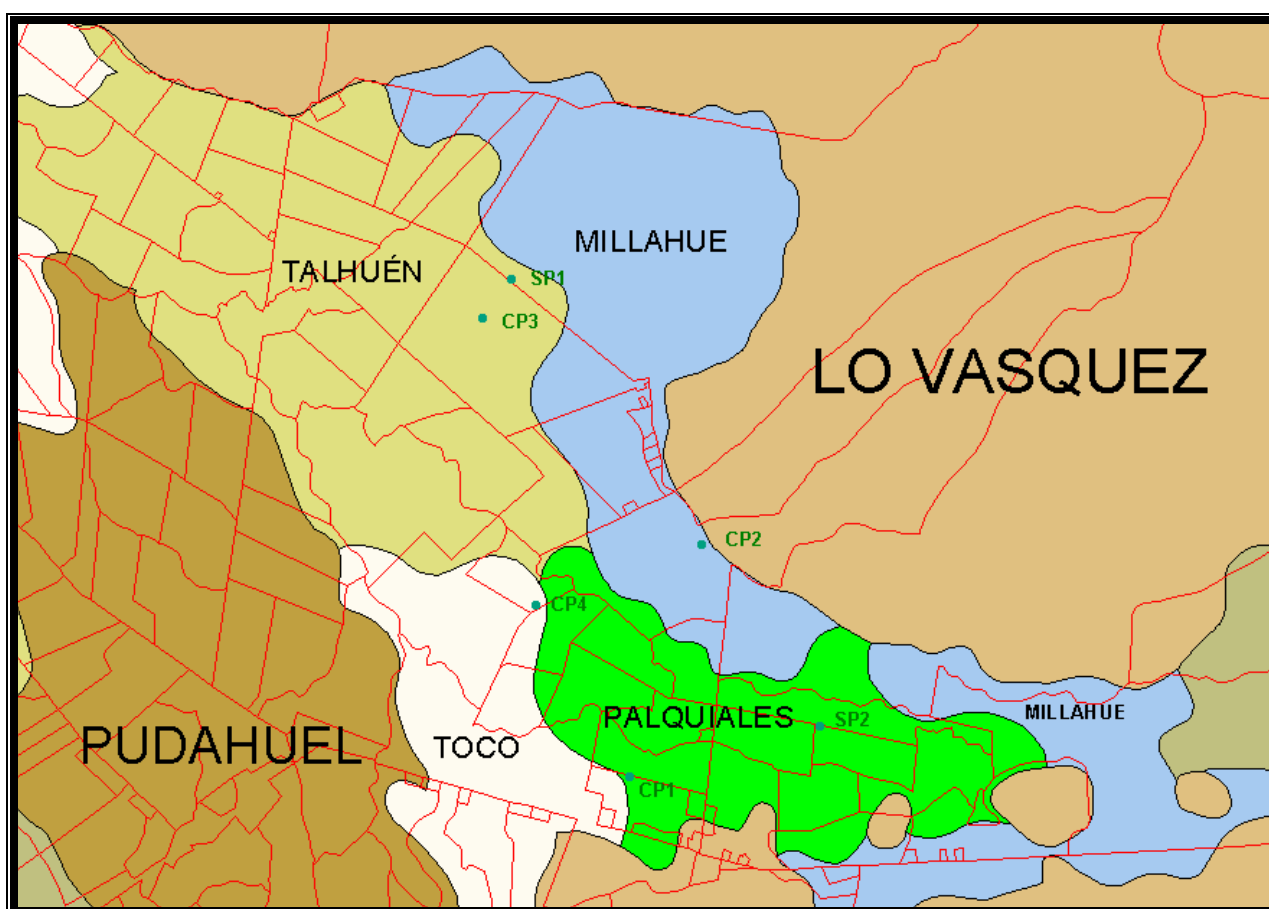
**(Plantel VI Región)**

Tratamiento	Ubicación	Sector
CP1	Potrero Lado Prensa	5
CP2	Sector el Estuche-La falda	3
CP3	Potrero cercano a Plantel	2
CP4	La Huella	6
SP1	Potrero cercano a Plantel	1
SP2	Potrero Juan Leiva	4

### Plantel VIII Región

Tratamiento	Ubicación	Sector
CP1		1
CP2		2
CP3		3
SP		4
SP	Casa Interior Chillán	Vertiente

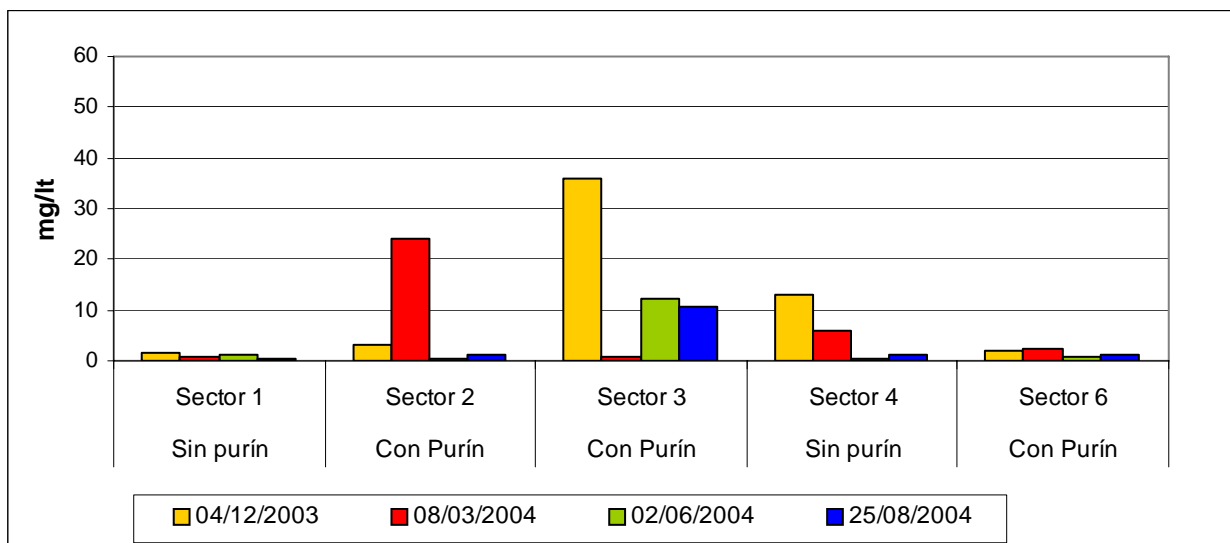
El detalle se muestra en la siguiente figura:



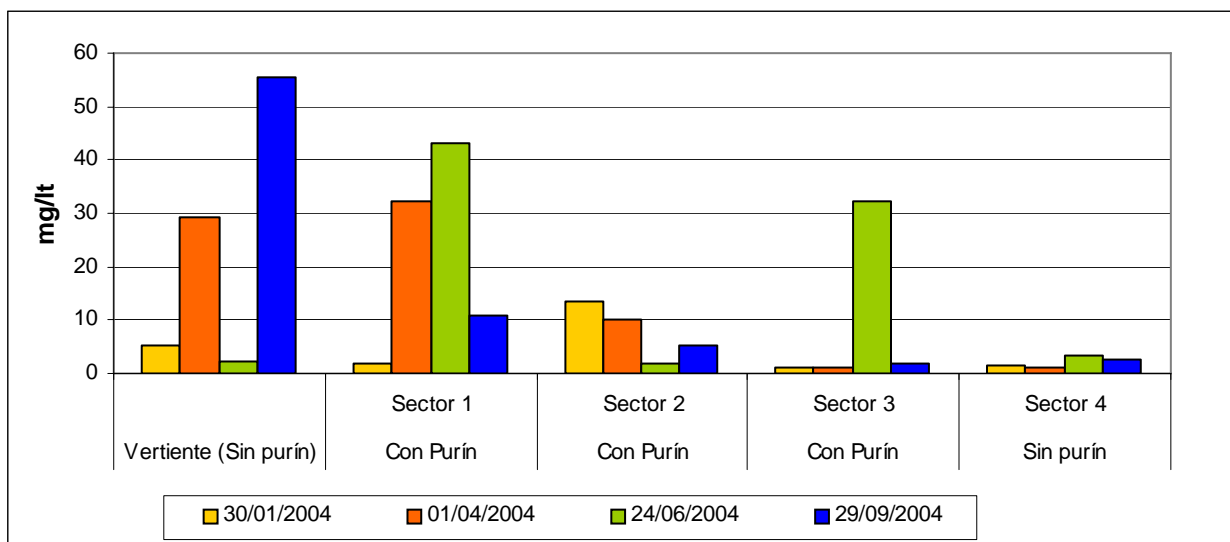
**Figura 6.13. Plano de selección de puntos de control para monitoreo plantel VI Región.**

Se desarrollaron 4 campañas de muestreo, partiendo aproximadamente en diciembre de 2003, para finalizar en octubre de 2004, con las últimas evaluaciones.

A continuación se muestran sólo los resultados de 4 campañas de muestreo de agua para las variables nitratos, pH, Conductividad Eléctrica, y fósforo.



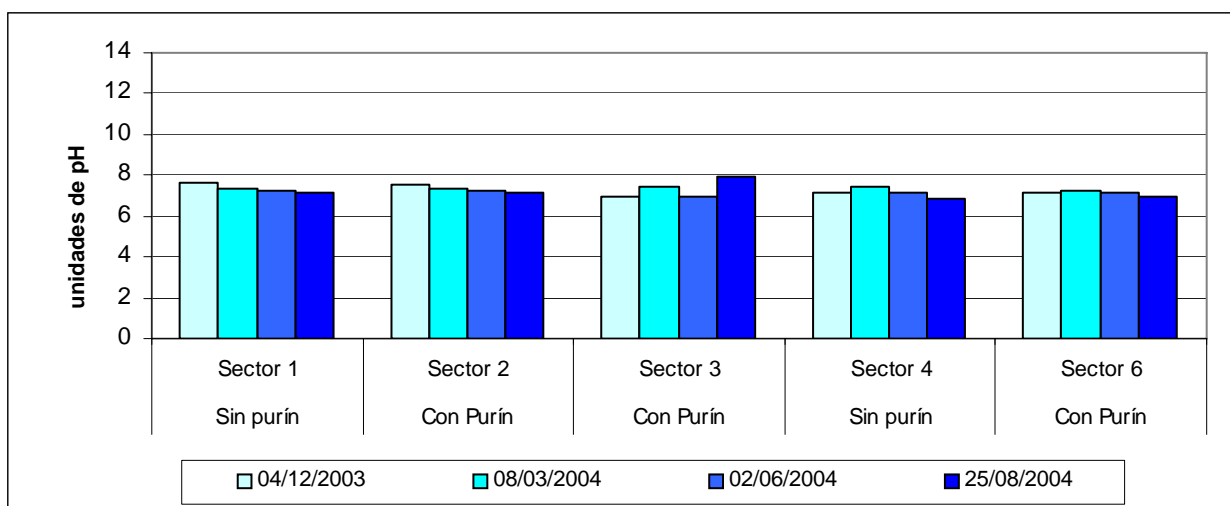
**Figura 6.14. Análisis de N-NO<sub>3</sub>- en pozos de observación, plantel VI Región.**



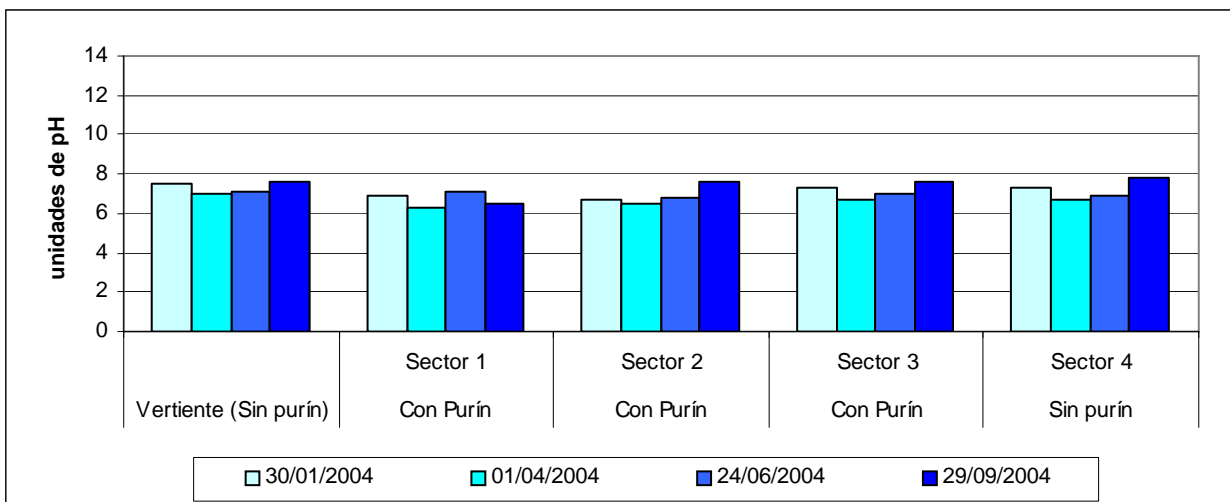
**Figura 6.15. Análisis de N- NO<sub>3</sub>- en pozos de observación, plantel VIII Región.**

El nitrato, medido en ambos planteles, muestra valores, en general inferiores a los 30 mg/l. Existe, aunque no con toda claridad, en el plantel de la VIII región, una tendencia a que las áreas sin aplicaciones de purín, presenten concentraciones más bajas, cualquiera sea el período del año considerado. En el caso del plantel de la VI región, esta tendencia no es tan clara, toda vez que aparecen sectores con aplicaciones, que también presentan valores bajos.

Se observa cierta tendencia, al ser estas aguas subsuperficiales, a que la concentración disminuye en la medida que avanza el año, no registrándose acumulación aparente de los nitratos en el agua subterránea. Este fenómeno puede ser atribuido a la dilución por el aumento de la disponibilidad de agua (recarga) en períodos invernales y a su vez, por un escaso tiempo de residencia de este tipo de aguas en el acuífero (acuíferos abiertos, no confinados y superficiales).

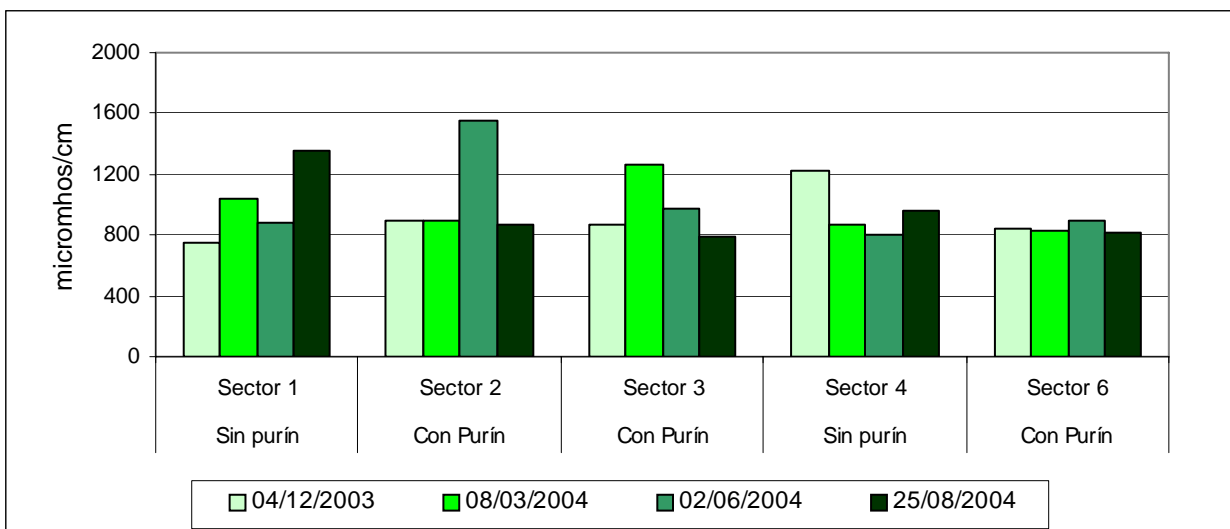


**Figura 6.16. Análisis de pH del agua en pozos de observación, plantel VI Región.**

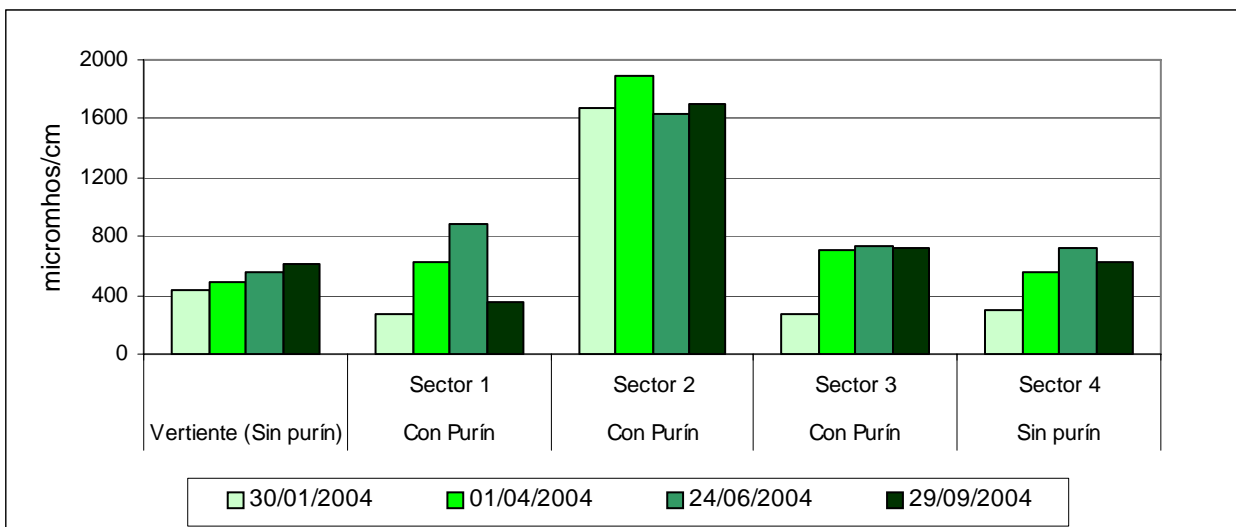


**Figura 6.17. Análisis de pH del agua en pozos de observación, plantel VIII Región.**

Desde el punto de vista del pH y la CE, no se observan grandes diferencias con o sin aplicaciones en ambas localidades, lo que hace ver que este parámetro es relativamente estable en las aguas subsuperficiales y parece no estar afectado por las aplicaciones. Sólo en el sector 2, con purín, la CE se muestra consistentemente más alta que el resto de las mediciones de los otros sitios considerados.

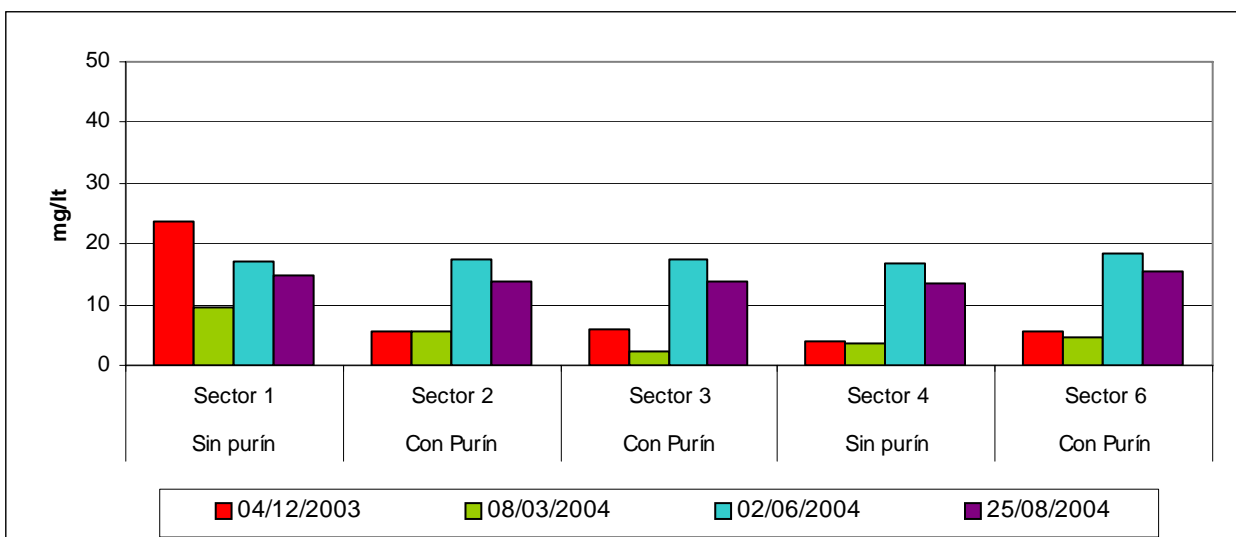


**Figura 6.18. Análisis de conductividad eléctrica (CE) del agua en pozos de observación, plantel VI Región.**



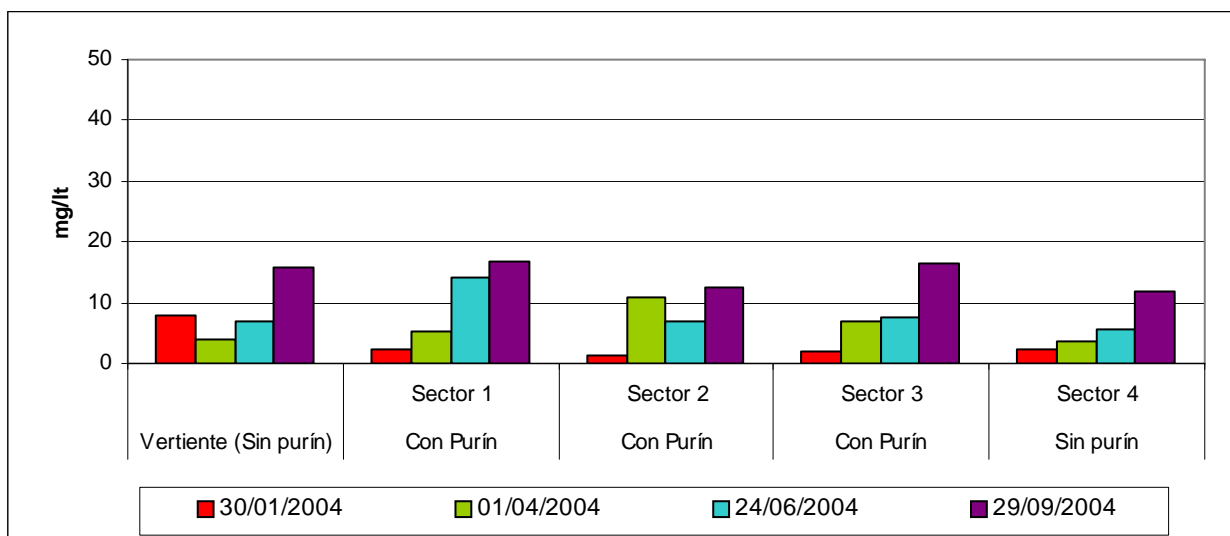
**Figura 6.19. Análisis de conductividad eléctrica (CE) del agua en pozos de observación, plantel VIII Región.**

El fósforo total muestra valores, en casi todas las condiciones, por debajo de los 20 mg/l. Se observa una tendencia a aumentar la concentración hacia el final del año, sin una causa aparente.



**Figura 6.20. Análisis de Fósforo total (P) del agua en pozos de observación, plantel VI Región.**





**Figura 6.21. Análisis de Fósforo total (P) del agua en pozos de observación, plantel VIII Región.**