

**XX CONGRESO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL  
AIDIS- CHILE  
Santiago, Octubre de 2013**

**Determinación de la Presencia de Nitrógeno de Diversas Fuentes en Aguas Subterráneas en un Acuífero Agrícola**

Emilio Fernández A.

Ingeniero Civil (Hidráulica), Universidad de Chile, Master of Science, Universidad de Waterloo, Canadá. Jefe Área Recursos Hídricos GP Consultores Ltda.

Email: [efernandez@gpconsultores.cl](mailto:efernandez@gpconsultores.cl)

Dirección: Av. 11 de Septiembre 2155, Torre A, Of. 403, Providencia, Santiago, Chile.

Fono: (56 2) 2435 87 66

Fax: (56 2) 2435 87 53

Alejandro Grilli D-F.

Ingeniero Civil (Hidráulica), Universidad de Chile. Gerente General GP Consultores Ltda. Especialista en Hidrología Superficial y Subterránea.

Ramón Aravena

Químico, Universidad Católica de Chile. PhD, Universidad de Waterloo, Canadá. Académico e Investigador en el departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Waterloo. Especialista en Hidrología Isotópica y Geoquímica.

Daniela Alvarez G.

Ingeniero Agrónomo, Universidad de Concepción, Jefe del Departamento Ambiental APA-ASPROCER.

VIII-Fernández (oral)

Palabras Clave: Nitrógeno, Aguas Subterráneas, Isótopos, Purín.

---

# Determinación de la Presencia de Nitrógeno de Diversas Fuentes en Aguas Subterráneas en un Acuífero Agrícola

## 1. Introducción

La producción de ganado porcino presenta en la actualidad una alta concentración de plantales de explotación en la zona central del país, localizados principalmente en zonas agrícolas donde coexisten con otras potenciales fuentes de nitrógeno en aguas subterráneas, tales como fertilizantes industriales, aguas servidas usadas en riego y focos puntuales asociados a fosas sépticas y pozos negros. El nitrógeno por lo tanto, es un tema transversal a toda la agricultura derivado de la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos. En consecuencia, en áreas donde se encuentra la industria del cerdo y donde los purines<sup>1</sup> son utilizados en el riego de cultivos o como fertilizantes orgánicos, o bien como aporte de materia orgánica a los suelos, se estima necesario evaluar el aporte de nitratos a las aguas subterráneas proveniente de los purines, en relación a las otras fuentes históricas que han existido en esas zonas agrícolas.

Los nitratos en las aguas subterráneas presentan efectos sobre la salud humana. Los principales son la metahemoglobinemia (síndrome del bebé azul). Luego, con el fin de evitar problemas a la salud humana se ha establecido como concentración máxima de nitratos en agua potable un límite de 10 mg/L de  $\text{N-NO}_3^-$  (o 50 mg/L de  $\text{NO}_3^-$ ), estableciéndose así dicho límite como un estándar mundial para la calidad del agua potable (establecido por la Organización Mundial de la Salud).

El presente trabajo pretende evaluar la incidencia de la aplicación de purines y de las otras potenciales fuentes aportantes en sectores agrícolas, e identificar las características particulares de los sectores en estudio que hacen variar la cantidad de Nitratos que llega a las aguas subterráneas y las concentraciones resultantes en la zona saturada del sistema acuífero.

El Área de estudio correspondió al Sector Pichidegua, localizado en la Zona Central de Chile, comuna de Pichidegua, Región del General Libertador Bernardo O'Higgins, provincia del Cachapoal.

El Objetivo General del trabajo es determinar el nivel de presencia de compuestos nitrogenados de origen agrícola, y sus fuentes, en aguas subterráneas.

Los Objetivos Específicos son los siguientes:

- Caracterizar el sector seleccionado (identificar fuentes N y caract. Hidrogeológicas).
- Evaluar la condición actual de concentraciones de nitrato en las aguas subterráneas.
- Caracterizar las Potenciales Fuentes Superficiales de nitratos.
- Identificar Trazadores Químicos y/o Isotópicos de los purines.
- Identificar el impacto de los de purines en contenidos de nitratos en las aguas.

## 2. Metodología

La medición de la composición isotópica de  $\text{NO}_3$  ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ ) en aguas subterráneas y superficiales es utilizada como un método de evaluación de fuentes y procesos que afectan al

---

<sup>1</sup> En la crianza convencional de cerdos, los animales son mantenidos en corrales sobre piso falso, los cuales son lavados diariamente, y los residuos generados corresponden a una suspensión acuosa denominada **purín**, que contiene las excretas animales líquidas y sólidas, el agua de lavado de pisos y la cama animal propiamente tal (paja, viruta, u otro material) compuesta mayoritariamente por residuos vegetales fibrosos.

nitrato en las aguas subterráneas. En este sentido, la composición isotópica es de utilidad para las siguientes evaluaciones:

- Permite distinguir fuentes de contaminación por nitratos y evaluar sus respectivas contribuciones.
- Permite evaluar variaciones y tendencias en la contaminación por nitratos.
- Permite cuantificar el impacto de la desnitrificación y otros procesos de atenuación.
- Permite definir medidas para reducir la contaminación y evaluar el grado de efectividad.

Por otra parte, para generar líneas de evidencia adicionales, que permitan determinar las fuentes de los nitratos en el sistema, las mediciones de  $^{15}\text{N}$  y  $^{18}\text{O}$  en  $\text{NO}_3^-$  se combinan con el análisis de los isótopos estables del agua,  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ , y radioactivo,  $^3\text{H}$ , y mediciones químicas.

Las actividades desarrolladas durante la ejecución del estudio contemplaron:

- Caracterización del Área de Estudio: Identificación de Prácticas Agrícolas Actuales e Históricas; Reconocimiento de Pozos y Norias Existentes; Caracterización Hidrogeológica.
- Caracterización Físico-Química e Isotópica de las Potenciales Fuentes de Nitratos a las Aguas Subterráneas: Caracterización de las potenciales fuentes de nitratos al agua subterránea incluye su caracterización isotópica, además de la tradicional caracterización físico-química. Esta caracterización incluye Purines de Cerdo y Fertilizantes sintéticos utilizados.
- Caracterización Físico-Química e Isotópica de las Aguas Subterráneas: Monitoreos en pozos y norias seleccionados, además de aguas superficiales.

## **2.1. Trazadores de Fuentes de Nitrógeno en Aguas Subterráneas: Isótopos Estables, $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en $\text{NO}_3^-$**

El uso de los isótopos estables del nitrógeno y oxígeno ( $^{15}\text{N}$  y  $^{18}\text{O}$ ) son muy comunes en el estudio de problemas de contaminación asociados al nitrate. Ambos isótopos son parte de la molécula del nitrate y proveen de información muy importante y de utilidad como trazadores de fuentes de nitratos, dado que, dependiendo del origen del nitrate, imprime una marca isotópica muy distintiva a las aguas (Aravena y Mayer, 2009).

Se ha observado que el rango típico de valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en nitrate se encuentra entre -10 y +25 ‰. Al respecto, cabe destacar que la marca en  $\delta^{15}\text{N}$ - $\text{NO}_3^-$  de las aguas servidas (incluyendo los purines) se distingue frecuentemente de las que presentan otras fuentes de nitratos, sobre la base del valor relativamente alto de  $\delta^{15}\text{N}$  que ellas presentan, el cual responde principalmente al proceso de volatilización de amoníaco, previo a la nitrificación (Hubner, 1986). Por otro lado, la marca de  $\delta^{15}\text{N}$  en nitrate de fertilizantes sintéticos presenta valores cercanos a cero per mil, debido principalmente a que su origen se encuentra en nitrógeno atmosférico. Respecto al nitrate en el suelo, formado por la oxidación de nitrógeno orgánico, presenta en promedio valores de  $\delta^{15}\text{N}$  en un rango que se sobrepone a los valores más altos asociados a fertilizantes sintéticos y a los valores más bajos asociados a desechos animales o aguas residuales (Aravena y Mayer, 2009, **Figura 1**).

En problemas de contaminación asociados al uso de purines, generalmente durante el tiempo en que los purines son almacenados en lagunas o tranques, se tiene que el nitrógeno ahí presente (en forma de amonio,  $\text{NH}_4^+$ ) se encuentra sometido a un proceso de volatilización

(Karr et al., 2001). Luego, el nitrógeno remanente en forma de  $\text{NH}_4^+$  se enriquece en los isótopos más pesados ( $^{15}\text{N}$ ). De esta manera, el nitrato que proviene de esta fuente (previa nitrificación) se imprime de una marca isotópica muy distintiva con respecto a las marcas encontradas en fertilizantes o en aguas residuales domésticas (pozos negros, tanques sépticos, etc.). (Aravena y Mayer, 2009)

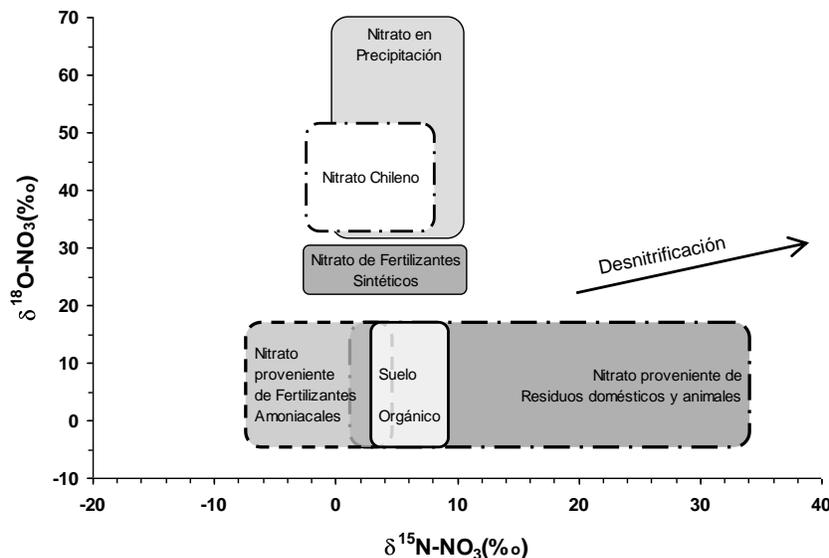
En el caso de Chile, el nitrato proveniente de depósitos en desiertos (desde el desierto de Atacama) presenta una composición isotópica mucho más enriquecida en  $\delta^{18}\text{O}$  que aquella proveniente de aguas residuales o incluso purines (Aravena y Mayer, 2009).

En resumen, la evaluación de las fuentes de nitrógeno aportantes a las aguas subterráneas se basa en la comparación entre análisis efectuados sobre muestras de aguas subterráneas y las diferentes marcas isotópicas asociadas a las potenciales fuentes. En la **Tabla 1** y en la **Figura 1** se presentan valores típicos de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  en nitratos, asociados a distintas fuentes.

De la **Figura 1** se destaca que, si el suelo y/o el acuífero presenta condiciones anaeróbicas, se puede producir el proceso de desnitrificación, que corresponde a una reacción de oxidación-reducción, anaeróbica, generalmente utiliza carbono orgánico como dador de electrones. Acerca de este proceso y de su efecto en la composición isotópica, se observa en un gráfico de  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  en  $\text{NO}_3^-$  un enriquecimiento en los isótopos pesados, con una pendiente de aproximadamente  $\delta^{18}\text{O}_{\text{nitrato}} : \delta^{15}\text{N}_{\text{nitrato}} \approx 1:2,1$  (Aravena y Robertson, 1998).

**Tabla 1:** Marca isotópica ( $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ ) típicas en nitrato disuelto ( $\text{NO}_3^-$ ) asociadas a diferentes fuentes (Motzer, 2006).

FUENTE POTENCIAL	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
Fertilizante Comercial	-4 a +4	+18 a +26
Nitrato Chileno	-3 a +8	+32 a +52
Desechos Animales o Humanos	> +10	-4 a +12
Precipitación	-3	+18 a +60
Nitrógeno Orgánico en Suelos	+4 a +9	-4 a +1



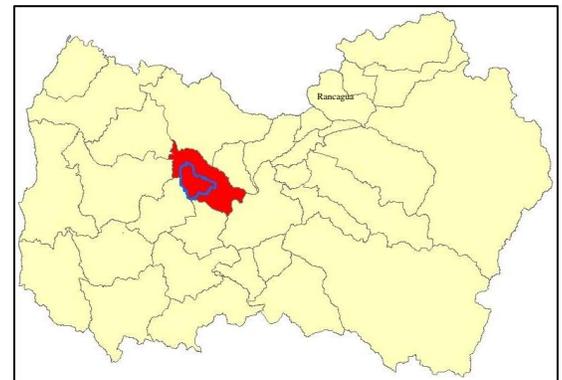
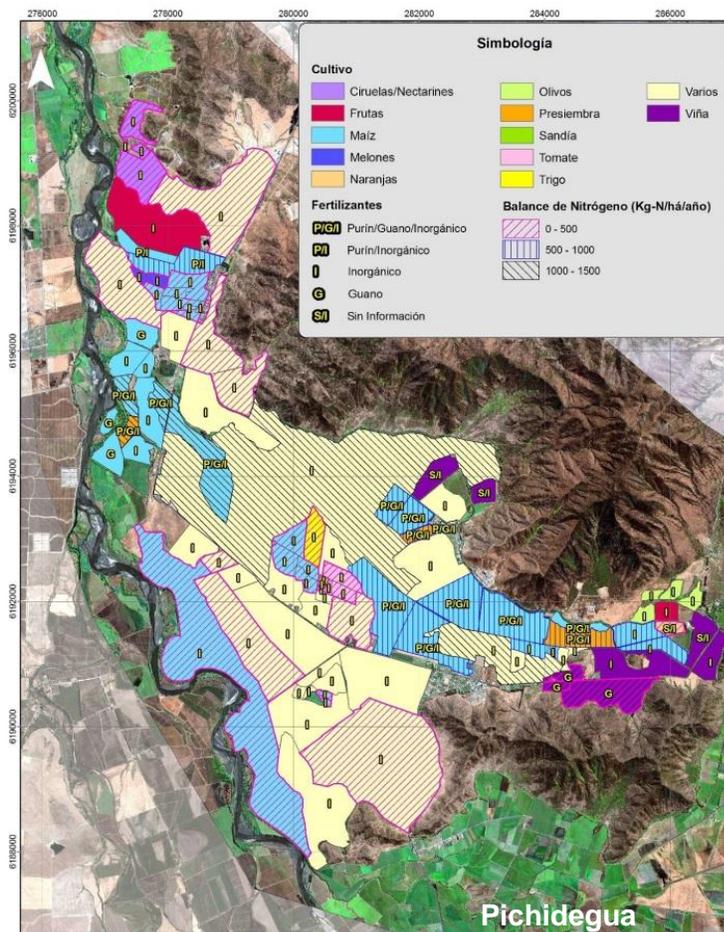
**Figura 1:** Valores de  $\delta^{15}\text{N} - \text{NO}_3^-$  y  $\delta^{18}\text{O} - \text{NO}_3^-$  asociados a diferentes fuentes de nitratos (Motzer, 2006; Kendall, 1998).

### 3. Resultados Obtenidos

#### 3.1. Fuentes Potenciales de Nitratos

El sector de Pichidegua se caracteriza por ser un área eminentemente agrícola, con presencia de la industria porcina. Los planteles de cerdos existentes producen purines, los cuales son aplicados en zonas de cultivos como mejoradores de suelo. La actividad agrícola de esta zona es de larga data, con aplicación de purines abarcando un período de por lo menos 15 años, alcanzando en los sectores más antiguos un período de aproximadamente 30 años. Luego, en este sector, las principales fuentes potenciales de nitratos corresponden a los fertilizantes nitrogenados y/o purines que se aplican en las zonas de cultivo. Se destaca que, en este sector, las aguas servidas domésticas corresponden a una fuente potencial de nitratos de carácter puntual, acotada a los sectores de asentamientos humanos. Asimismo, también existen áreas de cultivos con aplicación de guanos, pero estas aplicaciones son de menor magnitud que las asociadas a purines o fertilizantes sintéticos.

Luego de un balance de nitrógeno en el área (ver **Figura 2**), la aplicación de fertilizantes sintéticos en la superficie del terreno es la principal fuente potencial de N-Nitratos en este sector (84%), seguido por la aplicación de purines (14%). El aporte de Nitrógeno asociado a los sólidos (2%) es muy inferior respecto de las otras fuentes existentes en este sector del proyecto.



Región del General Libertador  
Bernardo O'Higgins

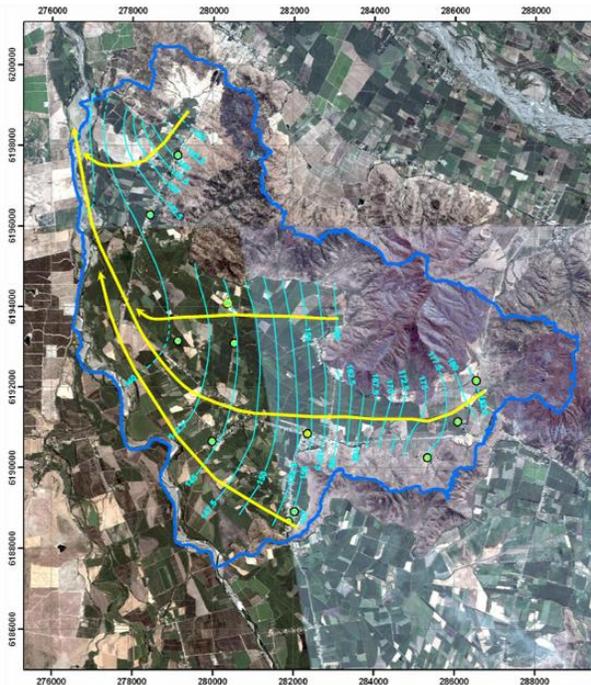
**Figura 2:** Cultivos y fertilizantes aplicados (incluye resultado de balance de nitrógeno).

### 3.2. Caracterización del Sistema Hidrogeológico

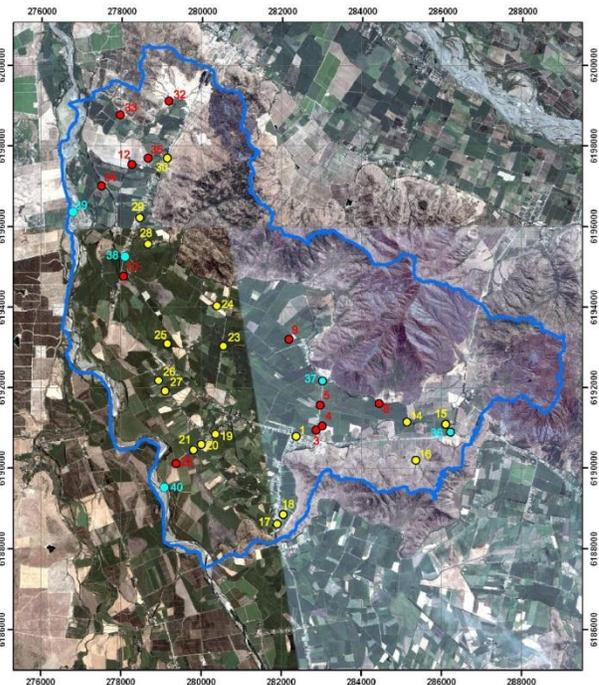
En superficie, los suelos presentan en general permeabilidades de baja a moderada. Sólo en los cauces superficiales naturales se observan altas permeabilidades hidráulicas.

En subsuperficie se observan dos sectores hidrogeológicos: **(a)** en el valle del río Tinguiririca (borde Oeste del área en estudio) se desarrolla un acuífero del tipo libre, en una Unidad Hidrogeológica conformada por los depósitos fluvio-aluvionales asociados a cauces antiguos del río Tinguiririca, y **(b)** hacia el sector de la rinconada (sector Centro y Este del área en estudio) se presenta un acuífero profundo confinado desarrollado en la Unidad Hidrogeológica conformada por arena fina limosa (el cual corresponde al acuífero propiamente tal), en donde la unidad confinante (acuitardo) correspondería a un estrato de ceniza ahí existente.

Respecto a las aguas subterráneas, se observa que la profundidad de la napa freática se ubica entre 0,6 a 9,2 m de profundidad en las norias (sistema somero) y entre 0,8 a 7,6 m de profundidad en los pozos (sistema profundo). De acuerdo a los gradientes hidráulicos verticales, existe una posibilidad de traspaso de agua del sistema somero al profundo, pero su magnitud está limitada por las bajas permeabilidades del estrato de cenizas. En la **Figura 3** se presentan las direcciones de flujo por el sistema acuífero de mayor permeabilidad. Se observa que el flujo principal de las aguas subterráneas presenta una dirección paralela al río Tinguiririca, incorporándose a ese flujo los aportes de agua provenientes desde las quebradas del sector Este del Sector Piloto en estudio.



**Figura 3a:** Curvas Equipotenciales (curvas celeste) y Direcciones del Flujo de las Aguas Subterráneas (líneas amarillas) del sistema acuífero del sector Pichidegua, Septiembre 2010.



**Figura 3b:** Puntos de monitoreo de aguas. En amarillo se representan las norias, en rojo los pozos y en celeste los puntos de medición de aguas superficiales.

Las mediciones de isótopos estables del agua ( $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$ , ver **Figura 4**) muestran que el origen de las aguas subterráneas del acuífero profundo es diferente a las del sistema somero (acuitardo). El origen de estas aguas está asociado a:

- Aguas de recarga local (precipitaciones en el sector del proyecto, más enriquecidas, más positivas, en los isótopos estables del agua), las cuales se observan en el acuífero profundo (identificadas en los pozos). Proviene de infiltración de aguas lluvias en el *pie de monte*.
- Aguas provenientes de percolación de excedentes de regadío (aguas del río Tinguiririca conducidas por canales de regadío, las cuales son más empobrecidas en los isótopos estables del agua, más negativas, provenientes de altitudes mayores), las cuales se observan (recargan) en el sistema somero (en las norias).
- Algunos pozos y norias presentan marcas isotópicas intermedias, correspondientes a mezclas de recarga local y de percolación de excesos de regadío (río Tinguiririca).

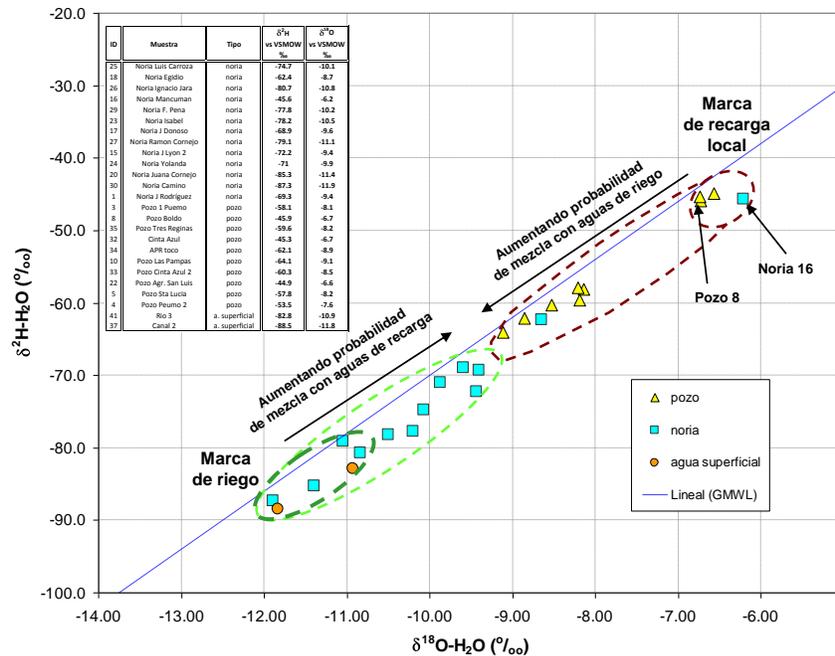


Figura 4: Mediciones de isótopos estables del agua ( $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^2\text{H}$ ), sector Pichidegua.

En **Figura 5** se resume esquemáticamente el modelo conceptual de funcionamiento del sistema hidrogeológico del sector Pichidegua.

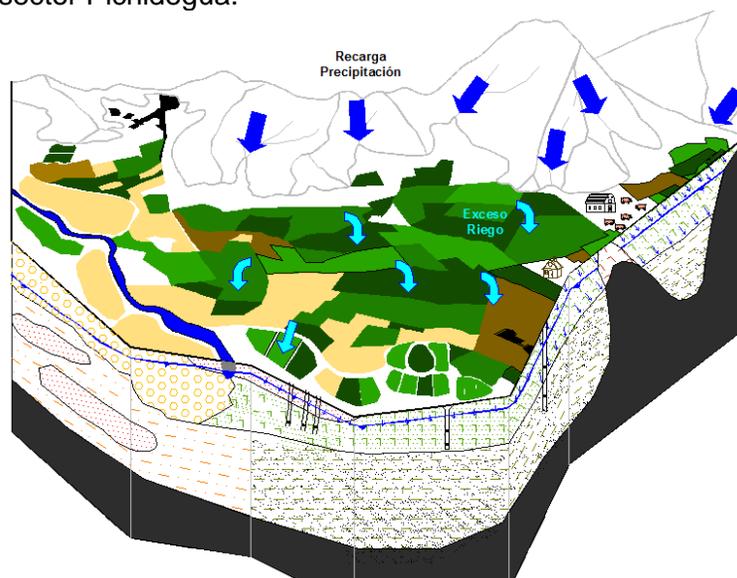
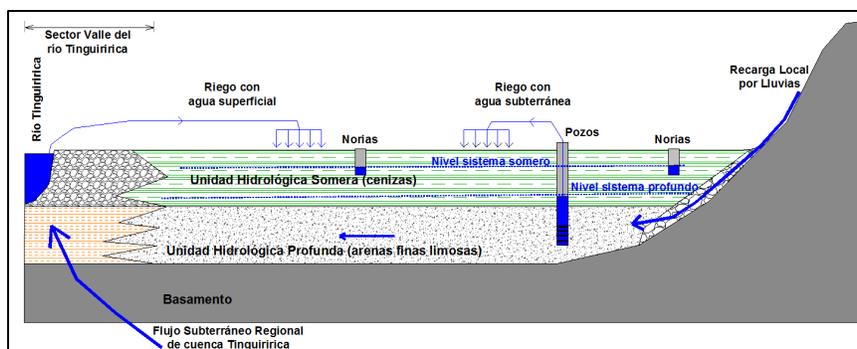


Figura 5 (a): Esquema conceptual del sistema hidrogeológico del sector Pichidegua.



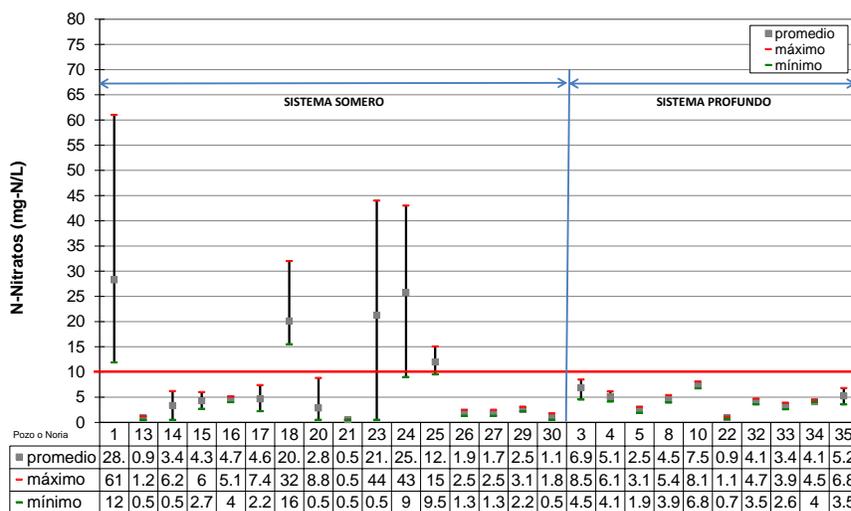
**Figura 5(b):** Perfil longitudinal representativo esquemático del sistema hidrogeológico del sector Pichidegua.

### 3.3. Nitratos en las Aguas Subterráneas

Las mediciones conjuntas de Nitrógeno Total y N-Nitratos, muestran que los N-Nitratos son la especie de nitrógeno predominante en el sistema acuífero (somero y profundo).

El efecto de las actividades agrícolas en la superficie del terreno sobre los contenidos de N-Nitratos en las aguas subterráneas, que sobrepase el límite permisible de nitrato de 10 mgN/L, se observa sólo puntualmente en algunas norias (con altos contenidos de N-Nitratos), lo cual no se extiende a nivel regional en el sector del proyecto. Las aguas subterráneas profundas (medidas en pozos) muestran consistentemente concentraciones de N-NO<sub>3</sub> inferiores a 10 mgN/L, independiente del tipo de fertilizantes usado en la zona (inorgánico, purines o guano).

En la **Figura 6** se presentan las concentraciones promedio de N-Nitratos, junto con los valores mínimos y máximos medidos en pozos y norias respectivamente. Las mediciones efectuadas en los años 2009, 2010 y 2011 incluyen muestreos estacionales, abarcando períodos secos (previos a las lluvias) y húmedos (posterior a las lluvias). Se observa que en el sistema profundo las concentraciones de N-Nitratos son inferiores a 10 mg N/L (mayoritariamente en torno a 5 mgN/L), manteniéndose bastante estables en el período del proyecto. En el sistema somero, representado por las norias, se observa variación estacional relacionada con el regadío y la aplicación de fertilizantes, ya sea inorgánico, purines o guano.



**Figura 6:** Concentraciones promedio de N-Nitratos (mg-N/L); valores mínimos y máximos en período 2009, 2010 y 2011.

La concentración de N-Nitratos medidos en norias es menor a 10 mg-N/L en 11 de las 16 norias monitoreadas durante el proyecto. En las 5 que superan el límite de 10 mgN/L, se observa una fuerte variabilidad estacional, lo cual es efecto de las actividades en la superficie del terreno. La zona que se visualiza con un mayor grado de afección es el definido por las norias 23, 24 y 25 (ubicadas en el sector central del área). Las altas concentraciones de N-Nitratos en las norias 1 y 18 (ubicadas en el borde Sur del área) están asociadas a focos específicos y no a plumas de carácter regional.

Cabe destacar que no se encontraron diferencias significativas en la concentración de N-Nitrato entre zonas donde los fertilizantes inorgánicos han sido utilizados históricamente, en comparación con zonas donde se ha aplicado solamente purines.

### **3.4. Identificación de fuentes de nitratos al agua subterránea.**

Los resultados indican que los purines de cerdo, por ser aplicados directamente (sin almacenamiento previo), presentan una marca isotópica ( $^{15}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O}$ , ver **Figura 7**) parecida (aunque levemente más enriquecida) a las otras potenciales fuentes de nitratos en la zona. Entonces, las interferencias en las “marcas isotópicas” hacen que su uso presente limitaciones en el sector de Pichidegua. Por lo anterior, las mediciones isotópicas son analizadas en conjunto con la caracterización de las actividades en superficie, mediciones químicas y, fundamentalmente, con la información hidrogeológica.

No obstante lo anterior, los datos isotópicos muestran que la desnitrificación es un proceso que está participando en la atenuación de nitratos en el acuífero somero y profundo. A continuación se presentan las principales conclusiones, asociado a las marcas isotópicas encontradas en los sectores con mayores concentraciones de nitratos:

Las **norias 15 y 16** (sistema somero) se encuentran en la cabecera de esta microcuenca (sector Sur-Este), presentando concentraciones de N-Nitratos menores a 5 mgN/L, concentraciones acorde con las bajas cargas de nitrógeno observadas en esta zona.

La **noria 15** se ubica en una zona donde no se aplican actualmente fertilizantes, purines o guanos. Se postula entonces que los datos de  $^{15}\text{N}$  y  $^{18}\text{O}$  de los Nitratos en la noria 15 (más enriquecidos) se pueden explicar por el proceso de desnitrificación. Los datos de isótopos estables del agua indican que sus aguas provienen del exceso de regadío que utiliza como fuente de abastecimiento al río Tinguiririca.

La **noria 16** se ubica en una zona donde se aplica guano. Los datos de  $^{15}\text{N}$  y  $^{18}\text{O}$  de los Nitratos medidos en esta noria representarían el nitrato proveniente de guano que no ha sufrido volatilización durante su permanencia en el suelo, lo que implicaría una infiltración rápida, concordante con su ubicación en una zona de alta permeabilidad (cabecera de la microcuenca, zona de *pie de monte*). El origen del agua de esta noria es de precipitación local.

Hacia el Sur-Oeste de los pozos anteriores, también en cabecera de la microcuenca, se ubica la **noria 1**. Sus aguas presentan elevadas concentraciones de N-Nitratos, con valores de  $28,3 \pm 18,5$  mgN/L. Se ubica en la zona de San Roberto (poblado), donde no existe aplicación directa de fertilizantes nitrogenados; sin embargo, se encuentra aguas abajo de un sector de aplicación de purines. Respecto al origen de los nitratos, las mediciones isotópicas muestran la influencia de los purines y guano, proveniente de una zona que está siendo recargada principalmente por agua de exceso de riego proveniente del río Tinguiririca. El valor isotópicamente más enriquecido de este nitrato en comparación a los purines y guanos frescos, indicaría que la urea

en estas fuentes es afectada por volatilización durante su permanencia en la zona de riego. Por otra parte, la gran diferencia en concentración de N-Nitratos en sus aguas indica que existe una fuente de nitratos próxima a la noria y que está aportando estacionalmente diferentes concentraciones de N-Nitrato (probablemente asociados al riego).

Las **norias 17 y 18** (sistema somero) se ubican en la cabecera de la parte Sur del sector en estudio. Entre ellas muestran una gran diferencia en sus concentraciones de N-Nitratos (valores promedio de 4,6 y 20,1 mgN/L, respectivamente), pero isotópicamente son muy similares. Ambas se ubican en un área de uso de fertilizantes sintéticos; luego, los valores isotópicos tendrían que estar asociados a volatilización de la urea y no se puede descartar la influencia de desnitrificación. El origen de sus aguas proviene del agua de riego y de precipitación local. Las diferencias en concentración de N-Nitratos están asociadas a condiciones hidrogeológicas locales.

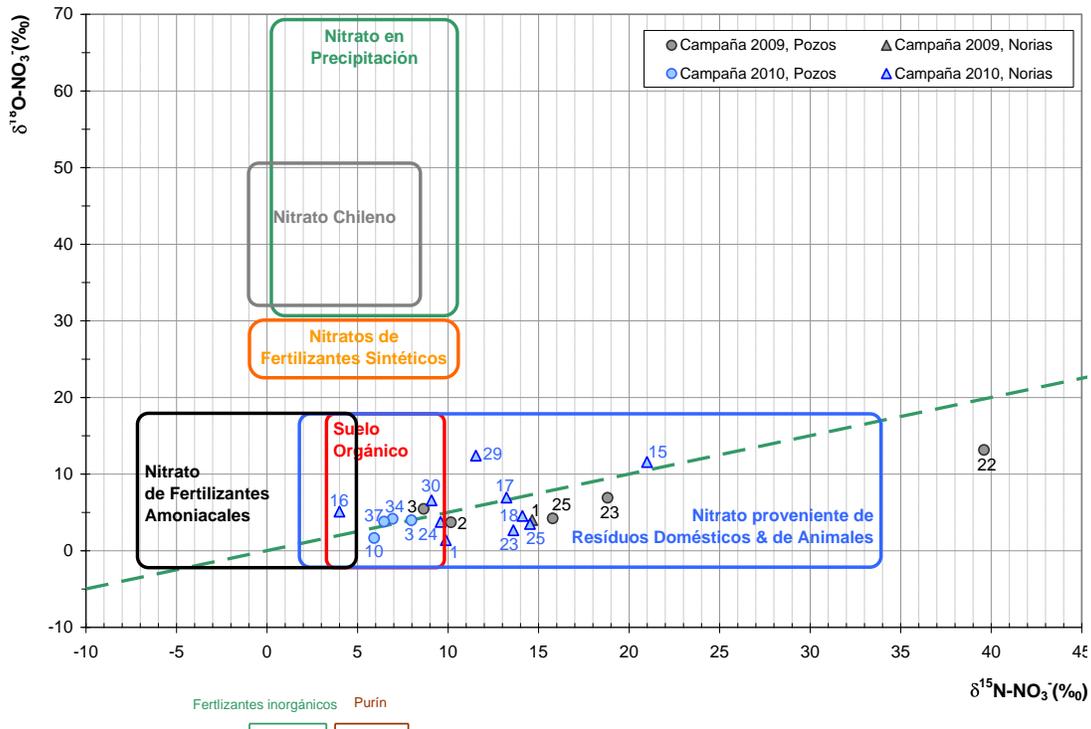
En el sector central del área de estudio, próximo y al Sur-Oeste de las norias 17 y 18, se ubica el **pozo 22** (sistema profundo), cuyas aguas también presentan bajas concentraciones de N-Nitrato (1 mgN/L) y valores de 39,6 y 13,2 ‰ para  $\delta^{15}\text{N-NO}_3$  y  $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ , respectivamente. Estos son los valores más enriquecidos obtenidos en el área de estudio, y no concordaría con el hecho que este pozo se encuentra en un área de influencia de aplicación de fertilizantes inorgánicos, por lo que se postula que la información medida responderían al proceso de desnitrificación, que atenúa la concentración de nitratos y enriquece isotópicamente al nitrato residual. Sin embargo, este pozo muestra un valor de oxígeno disuelto de 8,4 mg/L, el cual representa aguas oxigenadas, donde no es posible que ocurra desnitrificación. Esta parte del acuífero está alimentada principalmente por agua de precipitación. Es importante destacar que el agua de los pozos es un agua de mezcla que proviene de las rejillas colocadas a distintas profundidades. Luego, a veces es posible encontrar oxígeno en el agua ya que una parte del acuífero que está aportando al pozo tiene oxígeno y otra parte del acuífero puede estar en condiciones anaeróbicas, y es en esas unidades es donde se produce la desnitrificación.

Al Norte del sector anterior y en el centro del área de estudio, se ubican las **norias 23, 24, 25, 26 y 27** (sistema somero), las que se encuentran en una zona de uso de fertilizantes inorgánicos. En sus aguas se observa un amplio rango de variación en las concentraciones de N-Nitratos, con valores entre 2,4 a 27,6 mgN/L. Esos nitratos muestran valores entre 10 y 18,8 ‰ en  $\delta^{15}\text{N-NO}_3$  y entre 3,7 a 6,9 ‰ en  $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ . Los valores más enriquecidos se pueden explicar por el efecto de desnitrificación. Los valores de isótopos estables en el agua muestra que la mayor parte de la recarga al acuífero somero en la zona central proviene del agua de exceso de riego. Todas estas norias se encuentran ubicadas en suelos con permeabilidad baja; sin embargo, al corresponder al sistema somero, ellas están mucho más afectas a las actividades en superficie y a sus variaciones temporales.

La **noria 24** presenta valores de 10 ( $\delta^{15}\text{N-NO}_3$ ) y 3,7 ‰ ( $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ ) con una concentración de N-Nitratos de 27,8 mgN/l, siendo una de las concentraciones más altas medidos en el área de estudio. Esta noria se encuentra en una zona de uso de fertilizantes, pero cercano a ella se emplaza un pequeño galpón de pollos y un canal de regadío, siendo esas las fuentes más probable de los nitratos.

En el sector Centro-Norte del área en estudio se encuentra el **pozo 10**, cuyas aguas se caracterizan por una concentración de N-Nitrato de 7,5 mgN/L y de 5,9 a 6,8 ‰ en  $\delta^{15}\text{N-NO}_3$  y de 1,6 ‰ para  $\delta^{18}\text{O-NO}_3$ . Este último valor es uno de los valores más bajos en el área de estudio. El pozo se ubica en una zona de aplicación de purines y guano. Los valores de isótopos estables del agua indican que esta parte del acuífero es alimentada por agua de riego

proveniente del río. Es posible que en esta zona hayan materiales de alta permeabilidad y la recarga sea relativamente rápida en la zona de riego, no siendo posible que el agua sea afectada por evaporación antes de infiltrarse. Los valores de  $\delta^{15}\text{N-NO}_3$  pueden representar nitratos de purines y guano que no han sufrido volatilización en el suelo, así como también a nitratos provenientes de fertilizantes como la urea que ha sido afectada por volatilización y que entró al acuífero profundo aguas arriba de la zona de la aplicación de purines. Luego, en este caso los isótopos del  $^{15}\text{N}$  no son muy sensibles para diferenciar nitratos de fertilizantes en comparación a purines.



**Figura 7:**  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  de  $\text{NO}_3$  en muestras obtenidas de pozos y norias, sector Pichidegua (campañas 2009 y 2010). A modo de referencia, se presentan el rango de  $\delta^{15}\text{N}$  de  $\text{NH}_4^+$  obtenidos en las muestras de purines, la marca de fertilizantes amoniacales, y rangos de marcas isotópicas esperadas para diferentes fuentes (fertilizantes de nitrato de amonio, suelo orgánico, residuos domésticos y de animales) posibles de Nitratos (Aravena et al., 2005; Silva et al., 2002; Clark and Fritz, 1997).

#### 4. Conclusiones

No obstante la intensiva utilización de fuentes nitrogenadas en la superficie del terreno, las mediciones de N-Nitratos en el sistema de aguas subterráneas muestra bajas concentraciones: en el entorno de 5 mg-N/L, normalmente bajo los 10 mg-N/L.

En el sistema acuífero somero las 5 norias con mayores concentraciones muestran que existe una fuente próxima a cada una de ellas y que aporta estacionalmente diferentes concentraciones de N-Nitrato (probablemente asociados al regadío). El origen de las aguas de esas norias corresponde a la percolación de los excesos de agua de regadío, que utiliza como fuente de abastecimiento al río Tinguiririca.

En el sistema acuífero profundo se observan bajas concentraciones de N-Nitratos. Lo anterior, por cuanto la unidad hidrogeológica superficial de baja permeabilidad hidráulica tiende a aislar

al sistema profundo de las actividades en superficie.

La concentración de nitrato en las aguas subterráneas es controlada principalmente por las características hidrogeológicas.

En el área se observa que existe una unidad hidrogeológica superficial de baja permeabilidad (cenizas), la cual tiende a aislar al sistema acuífero profundo de las actividades en superficie. Los  $N-NO_3$  se acumulan sobre o dentro estas zonas de movimiento de agua lento (en 3 metros de profundidad). Además, debido al alto contenido de arcillas, con una alta capacidad de absorción del nitrógeno, probablemente como amonio, impide su transporte y transformación a nitrato. Por otro lado, dado el espesor de las capas de arcilla y su baja permeabilidad, es posible que el nitrato sea atenuado por el proceso de desnitrificación (observado según mediciones isotópicas).

## Referencias

1. **Aravena, R. and Mayer, B.** (2009). Isotopes and processes in the nitrogen and sulfur cycles. En: C. M. Aelion, P. Höhener, D. Hunkeler, & R. Aravena (Eds.), Environmental isotopes in biodegradation and bioremediation (pp. 203–246). Boca Raton: CRC Press.
2. **Aravena, R. and Robertson, W.D.** (1998). “Use of multiple isotope tracers to evaluate denitrification in ground-water: Study of nitrate from a large-flux septic system plume”. En: Ground Water, 36 (6), 975-981.
3. **Aravena, R. and Clark, I.** (2005). “Environmental Isotopes in Groundwater Resource and Contaminant Hydrogeology”. NGWA Curso #394 January 25-26, San Diego, California.
4. **Clark, I. and P. Fritz, 1997.** Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis Publishers, New York, NY, 328 p.
5. **Grilli, A., Tore, C., Aguirre, E. y Moya, P.** (2000). “Cuidado con el Nitrato”. Revista Vertiente del Capítulo Chileno de ALHSUD, Año 5, N°5, pp.26-29.
6. **Hubner, H.** (1986). “Isotope effects of nitrogen in the soil and biosphere”. En: P. Fritz and J.C. Fontes (Eds.). Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, vol. 2b, The Terrestrial Environment, Elsevier, pp. 361-425.
7. **Karr, J., Showers, W., Wendell Gilliam, J. and Scout Andres, A.** (2001). “Tracing nitrate transport and environmental impact from intensive swine farming using delta nitrogen-15”. Journal of Environmental Quality, 30, 1163-1175.
8. **Kendall, C.** (1998). “Tracing nitrogen sources and cycling in catchments”. En: Isotope tracers in catchment hydrology. Edited by C. Kendall and J.J. McDonnell. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands. Pp. 534-569.
9. **Kendall, C., and Aravena, R.** (2000). Nitrate isotopes in groundwater systems, Chapter 9, En: P. Cook and Herczeg, A.L. (Eds.), Environmental Tracers in Subsurface Hydrology, Kluwer Academic Publishers, p. 261-297.
10. **Motzer, W.** (2006). “Nitrate Forensics”. Submitted to Fall 2006 HydroVisions Newsletter.
11. **Robertson, G.P.** (1989). “Nitrification and denitrification in humid tropical ecosystems: potential controls on nitrogen retention”. En: Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems. J Procter (Ed.). Blackford Scientific Publications, Oxford, England, pp. 55-69.
12. **Silva, S., Ging, P., Lee, R., Ebbert, J., Tesoriero, A., Inkpen, E.** (2002). Forensic Applications of Nitrogen and Oxygen Isotopes in Tracing Nitrate Sources in Urban Environments. Environmental Forensics, 2002.
13. **Strauss, E., Mitchell, N., and Lamberti, G.** (2002). “Factors regulating nitrification in aquatic sediments: effects of organic carbon, nitrogen availability, and pH”. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 59: 554-563.