GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

DIAGNÓSTICO DE FUENTES DE AGUA NO CONVENCIONALES EN EL REGADÍO INTER-REGIONAL

INFORME FINAL

TOMO IV

APENDICE 8

USO DE AGUAS SERVIDAS TRATADAS DE LA EMPRESA AGRÍCOLA SÚPER Y RECARGA DE ACUÍFERO (CUENCA ESTERO YALI)

BIBLIOTECA
COMISION NACIONAL DE RIEGO

REALIZADO POR

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

ENERO DE 2010

INDICE APENDICE 8 – TOMO IV

DIAGNÓSTICO DE FUENTES DE AGUA NO CONVENCIONALES EN EL REGADÍO INTER- REGIONAL

Informe Final

			Pág.
Uso de aguas servidas tratadas de la empresa Agrícola Súper y recarga de acuífero (Cuenca Estero Yali)			154
1		Descripción básica del proyecto	157
	1.1	Área de estudio	159
	1.2	Características de producción agrícola del Fundo Rinconada de Longovilo	161
	1.3	Características de suelo del Fundo Rinconada de Longovilo	163
	1.4	Balance hídrico actual Fundo Rinconada de Longovilo	165
	1.5	Fuentes de agua no convencional consideradas para el Fundo Rinconada de Longovilo	167
	1.6	Antecedentes del uso de aguas residuales tratadas	169
	1.7	Antecedentes la recarga artificial de acuíferos	169
2		Memoria de cálculo y descripción de obras.	170
	2.1	Sistema de impulsión de aguas residuales.	170
	2.2	Tranque de acumulación	179
		2.2.1 Características relevantes del tranque de almacenamiento	182
	2.3	Sistema de dilución de aguas residuales	187
	2.4	Recarga artificial de acuífero Estero Las Diucas	189
	2.5	Balance hídrico con uso de fuentes de agua no convencional	206
3		Planos	210
4		Análisis preliminar de servidumbres	210
5		Presupuestos	211
6		Calendario de inversiones de las obras	212
	6.1	Obras para utilización y aprovechamiento de aguas residuales tratadas	213
	6.2	Obras de recarga artificial de acuífero	213

Continuación Índice Apéndice 8...

7		Evaluación técnica del proyecto con otras fuentes de agua convencionales.	214
	7.1	Estado de las aguas subterráneas Valle del Yali.	215
	7.2	Áreas de restricción	216
	7.3	Justificación del uso de fuentes de agua no convencionales en Valle del Yali.	218
8		Evaluación económica	219
9		Evaluación ambiental global.	227
	9.1	Identificación de impactos ambientales	227
	9.2	Plan de Prevención de Riesgos	229
	9.3	Plan de Contingencias	232
	9.4	Estimación de los costos a nivel de prefactibilidad de estas medidas	236
10		Evaluación legal	237
11		Análisis del impacto agro productivo, legal y económico.	245
		Anexos (CD adjunto)	

INDICE APENDICE 8. CUADROS

DIAGNÓSTICO DE FUENTES DE AGUA NO CONVENCIONALES EN EL REGADÍO INTER- REGIONAL

Informe Final

Cuadro		Pág.
1	Capacidad y aptitudes de uso de suelo producción de nogales	**164**
2	Capacidad y aptitudes de uso de suelo producción de almendros.	**165**
3	Balance hídrico Fundo Rinconada de Longovilo	**166**
4	Coordenadas UTM sistema de impulsión de aguas residuales	**171**
5	Variables técnico-económicas para en el cálculo del diámetro de tuberías	**176**
6	Diámetros óptimo económicos subsistema Tramo A.	**177**
7	Diámetros y longitudes de tuberías del sistema de impulsión de aguas residuales	**178**
8	Altura dinámica total del sistema de impulsión de aguas residuales	**179**
9	Coordenadas UTM tranque de acumulación de aguas residuales	**180**
10	Precipitaciones promedio históricas del Fundo Rinconada de Longovilo	**181**
11	Dimensiones tranque de almacenamiento	**182**
12	Características del agua residual tratada en la salida de la planta	**187**
13	Coordenadas del sistema de recarga artificial de acuífero (Datum WGS84).	**190**
14	Balance hídrico con uso de fuentes de agua no convencional periodo Mayo – Noviembre	**208**
15	Balance hídrico con uso de fuentes de agua no convencional periodo Diciembre-Junio próxima temporada	**209**

Continuación Índice Apéndice 8. Cuadros...

16	Presupuestos considerados en el sistema de impulsión de aguas tratadas.	**212**
17	Presupuestos considerados en el sistema de recarga artificial	**212**
18	Calendario de ejecución de obras para el sistema impulsor de aguas tratadas.	**213**
19	Calendario de ejecución de obras para el sistema recarga artificial	**214**
20	Disponibilidad de aguas subterráneas de los sectores acuíferos del estero Yali, hasta sector El Prado	**215**
21	Valores de cierre para el acuífero del estero Yali	**216**
22	Características iniciales para la evaluación económica	**219**
23	Estructura de costos operacionales Fundo Rinconada de Longovilo	**221**
24	Flujo de caja años 0 a 9.	**223**
25	Flujo de caja años 10 a 19	**224**
26	Flujo de caja años 20 a 29	**225**
27	Flujo de caja año 30.	**226**
28	Matriz de Leopold para proyecto Yali	**228**
29	Costos anuales a nivel de prefactibilidad de medidas de prevención y mantención	**237**

INDICE APENDICE 8. FIGURAS

DIAGNÓSTICO DE FUENTES DE AGUA NO CONVENCIONALES EN EL REGADÍO INTER- REGIONAL

Informe Final

Figura		Pág.
1	Cuenca hidrográficas del río Maipo y Estero Yali	**156**
2	Ocurrencia de aguas subterráneas en las cuencas del río Maipo y estero Yali	**157**
3	Fundo Rinconada de Longovilo	**160**
4	Huerto de Nogales cv. Chandler Fundo Rinconada de Longovilo	**161**
5	Almendros Huañil, Los Molles, y Los Boldos	**162**
6	Almendros Farid - Quillayes - Desagües - De Galva	**163**
7	Esquema general ubicación del sistema de impulsión de aguas residuales	**171**
8	Diámetro óptimo económico tubería Tramo A.	**177**
9	Diámetro óptimo económico tubería Tramo B.	**178**
10	Diámetro óptimo económico tubería Tramo C.	**178**
11	Zona de construcción del tranque de acumulación.	**180**
12	Sistema de recarga artificial de acuífero Fundo Rinconada de Longovilo	**190**
13	Esquema general de recarga artificial de acuífero	**191**
14	Vista frontal muro de gaviones en el Estero Las Diucas	**193**
15	Cámara de ingreso y control de flujo de entrada al sistema de recarga	**194**

Continuación Índice Apéndice 8. Figuras...

16	Esquema pozos de inyección para recarga artificial de acuífero	**200**
17	Área de modelación del sistema de recarga artificial de acuífero	**202**
18	Zona de captura del pozo al que se le realizará la recarga artificial	**203**
19	Recarga artificial de acuífero en Fundo Rinconada de Longovilo	**204**
20	Detalle recarga artificial de acuífero en Fundo Rinconada de Longovilo	**205**
21	Areas de restricción en la cuenca del estero Yali y sus alrededores	**217**
22	Curvas de producción estimadas para nogales y almendros en el Fundo Rinconada de Longovilo	**220**

Uso de aguas servidas tratadas de la empresa Agrícola Súper y Recarga de acuífero (Cuenca Estero Yali).

Características físicas Estero Yali

La cuenca del estero Yali drena una superficie de aproximadamente 800 km^2 y pertenece a la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa. Este estero se forma en la confluencia de los esteros Lo Chacón y Loica. Otros afluentes son los esteros del Cerro, las Diucas y el Sauce.

Régimen de precipitaciones

Las precipitaciones en la cuenca son originadas por sistemas frontales y se concentran entre los meses de abril a octubre. La precipitación anual que cae sobre la cuenca es de aproximadamente 500 mm al año (DGA, 1987).

Régimen de caudales

No existe un control fluviométrico en la cuenca, sin embargo un estudio realizado por Dussaillant et. al. (2009) estima un caudal medio anual de 1,5 $m^3 s^{-1}$. Considerando la variabilidad del régimen hídrico en las cuencas costeras, este consultor estima que el caudal medio durante la temporada de verano es del orden de 150 L s^{-1}.

Descripción hidrogeológica

Desde el punto de vista hidrogeológico, en la cuenca del Yali existen dos sectores con rellenos permeables donde existen formaciones acuíferas de interés. El Primer sector se ubica en la parte alta de la cuenca y se puede interpretar como un antiguo paleocauce asociado a la cuenca del Maipo (Figura 2). El segundo sector corresponde a la zona costera donde existen un sistema de lagunas y humedales muy conocidos.

Mecanismo de recarga de acuíferos

Los mecanismos de recarga de los acuíferos están asociados principalmente a la infiltración de aguas lluvias sobre la cuenca y a infiltración que se produzca en algunos sectores del cauce. Las precipitaciones en la cuenca son originadas por sistemas frontales y se concentran entre los meses de abril a octubre. La precipitación anual que cae sobre la cuenca es del orden de 500 mm al año (DGA, 1987). El estero Yali, al igual que todos los esteros costeros de la zona Central de Chile presenta un régimen pluvial con importantes crecidas asociadas a eventos hidrológicos extremos.

Riego

La cuenca del estero Yali se desarrolla principalmente en las comunas de Santo Domingo y San Pedro. Según el Censo Agropecuario del 2007, la superficie regada en dichas comunas fue 2.176 y 4.800 hectáreas.

Características generales

En el Valle del Yali existe una gran cantidad de explotaciones agropecuarias, basadas principalmente en el uso de aguas subterráneas, pues los recursos superficiales son escasos.

En la parte baja de este sector existe un sistema de humedales, denominado Humedal del Yali, que es una reserva nacional y es un sector protegido que se encuentra inscrito en la lista de Humedales de Importancia Internacional en el marco de la Convención RAMSAR. La Dirección General de Aguas constató que las extracciones de agua, han ocasionado que el nivel del humedal haya descendido mas del límite aceptable y por eso se ha decretado zona de restricción al sector Yali Bajo.

Posteriormente, en la parte superior de la cuenca, un estudio desarrollado por la DGA, demostró que las demandas sobre el acuífero del Valle superan la recarga del sistema de aguas subterráneas. Por ello se restringió la explotación del sistema.

Desde el punto de vista hidrológico, La cuenca del Yali, es claramente un sector deficitario donde la demanda de agua excede largamente la escasa oferta existente. Debido a las características de la zona donde existen muchas explotaciones agrícolas basadas en el uso de pozos, resulta interesante el uso de aguas residuales tratadas y la recarga artificial de acuíferos.

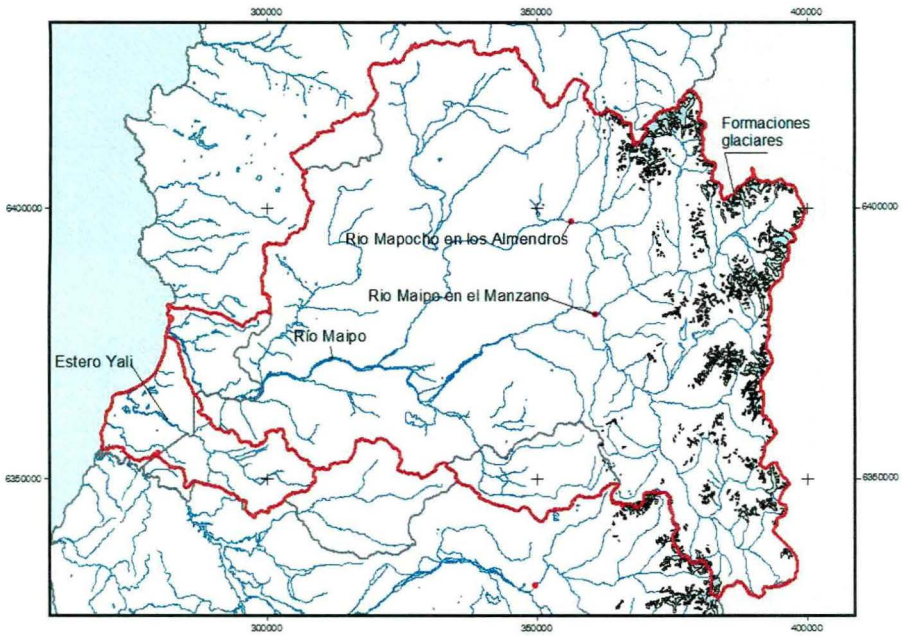

Figura 1. Cuencas hidrográficas del río Maipo y Estero Yali.

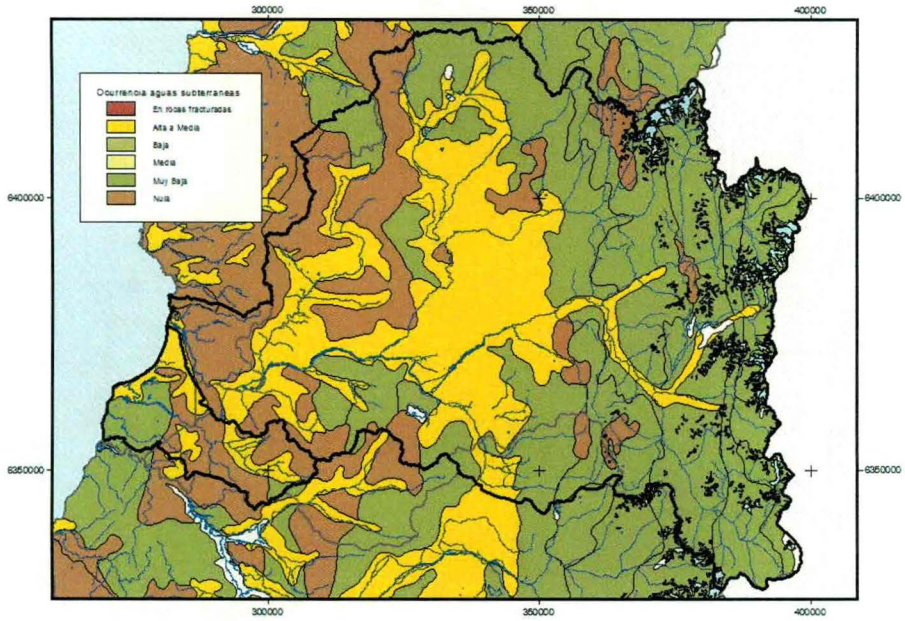

Figura 2. Ocurrencia de aguas subterráneas en las cuencas del río Maipo y estero Yali.

1 Descripción básica del proyecto

Este informe presenta el desarrollo del proyecto "Uso de fuentes de agua no convencional en el Fundo Rinconada de Longovilo, Valle del Yali, Región Metropolitana, Chile", perteneciente al estudio "Diagnóstico de fuentes de agua no convencional en el regadío inter-regional", que actualmente está realizando el departamento de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, y encargado por la Comisión Nacional de Riego.

El Proyecto, contempla el uso de dos tipos de fuentes de agua no convencional en el regadío para aumentar la seguridad de riego del fundo. Las fuentes de agua no convencional que se consideraron: (1) Uso de aguas residuales tratadas perteneciente a la empresa AGROSUPER; y (2) Recarga artificial de acuíferos.

El Fundo Rinconada de Longovilo posee 121,2 ha de producción frutícola, (90 ha con almendros, y 31,2 ha con nogales). Actualmente, el fundo se encuentra con un déficit hídrico acumulado equivalente a 80.015 m^3, lo cual significa una

pérdida de seguridad de riego para 30,87 ha para cada temporada de riego. Expresando el déficit hídrico en caudal volumétrico, se determinó que durante la temporada de riego se debería contar con 30,87 L s^{-1} extras a los ya disponibles en el Fundo Rinconada de Longovilo para suplir los requerimientos hídricos de los frutales.

El acceso a fuentes convencionales de agua para el regadío en la zona agroecológica del Fundo Rinconada de Longovilo, que permitan suplir el déficit, es complejo. Los acuíferos del Valle del Yali están cerrados y las subcuencas pertenecientes al valle están declaradas como zonas de restricción por parte de la Dirección General de Aguas, impidiendo así la adjudicación de nuevos derechos de aprovechamiento para aguas subterráneas. En conjunto, el acceso a fuentes de agua superficial por cauces artificiales (canales) es altamente costoso (considerando además el alto costo asociado a obtener los derechos de agua) debido a que se deberían realizar obras hidráulicas de gran magnitud para transportar el agua hacia el fundo. Así, la alternativa más adecuada y económicamente sustentable, sería utilizar fuentes de agua no convencionales en el regadío.

De acuerdo a las disposiciones de la empresa AGROSUPER, el caudal disponible a utilizar para el proyecto correspondió a 10 L s^{-1}, mientras que para recargar el acuífero, el caudal se determinó en función de los derechos de agua que el fundo posee sobre el estero Las Diucas, equivalente a 20 L s^{-1}. Así, se obtuvo un caudal potencial de 30 L s^{-1}. Tomando en cuenta que el agua recargada al acuífero (20 L s^{-1}) no puede ser extraída en su totalidad, se aplicó un criterio de eficiencia de recarga equivalente a un 80% del caudal infiltrado, con lo cual, se obtuvo un caudal real de 26 L s^{-1}, permitiendo así suplir el déficit hídrico actualmente existente.

En consecuencia, mediante el uso combinado de las dos fuentes de agua no convencional, se pretende aumentar la seguridad de riego del Fundo Rinconada de Longovilo en 30,87 ha.

El proyecto contempló tanto el diseño como la evaluación técnica, económica y legal de:

- Un sistema de impulsión de aguas residuales desde las dependencias de la empresa AGROSUPER, sector 14 los Culenes, hasta el Fundo Rinconada de Longovilo, ambos ubicados en Valle del Yali, Región Metropolitana, Chile.
- Un tranque de almacenamiento en el Fundo Rinconada de Longovilo revestido con geomembrana, para las aguas residuales provenientes de la empresa AGROSUPER.
- Un sistema de dilución de las aguas residuales que permita estandarizarla como agua para riego agrícola, bajo los límites recomendados y exigidos por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), permitiendo así utilizarlas para regar los frutales del Fundo Rinconada de Longovilo sin perjuicio del medio ambiente y a terceros.
- Un sistema subterráneo de recarga artificial de acuíferos en el Fundo Rinconada de Longovilo, que utilice las aguas del estero Las Diucas durante los meses de no riego.

Los resultados del proyecto dieron cuenta que es posible aumentar la seguridad de riego del Fundo Rinconada de Longovilo para las 30,87 ha de plantación, supliendo el déficit hídrico actualmente existente mediante el uso de fuentes de agua no convencional.

A continuación se proporciona la información y las características relevantes que permitieron desarrollar tanto el diseño como la evaluación técnica, económica y legal del presente proyecto.

1.1. Área de estudio.

El estudio se realizó en el Fundo Rinconada de Longovilo, ubicado a 33.9033° Latitud Sur y 71.3519° Longitud Sur, en el sector hidrogeológico Las Diucas de la cuenca del estero Yali, Región Metropolitana de Chile. El área de estudio corresponde a 1958,2 hectáreas (Figura 3).

Figura 3: Fundo Rinconada de Longovilo.

1.2 Características de producción agrícola del Fundo Rinconada de Longovilo.

El fundo Rinconada de Longovilo se enfoca en la producción de frutos secos. Posee 31,2 ha de Nogales cv. Chandler y 90 ha de Almendros cv. Nonpareil (plantados el año 2006), lo que en conjunto suman un área de 121,2 ha plantadas e irrigadas mediante riego por goteo. Adicionalmente, existe un pivote de riego central que irriga 28 ha cultivadas con avena, por lo que en total, el fundo Rinconada de Longovilo abarca un área de producción agrícola de 149,2 ha.

El área del huerto de nogales está dividida en dos zonas, norte y sur, comprendiendo 11,2 y 20 ha de nogales respectivamente (Figura 4). El marco de plantación del huerto corresponde a 7 metros entre las hileras y 5 metros sobre las hileras, con 286 nogales por hectárea. La profundidad radical de extracción absorbente es de 60 cm promedio, y el caudal de los goteros es de 2 L hr^{-1}, espaciados a 0.5 metros, ubicados en laterales simples sobre la hilera.

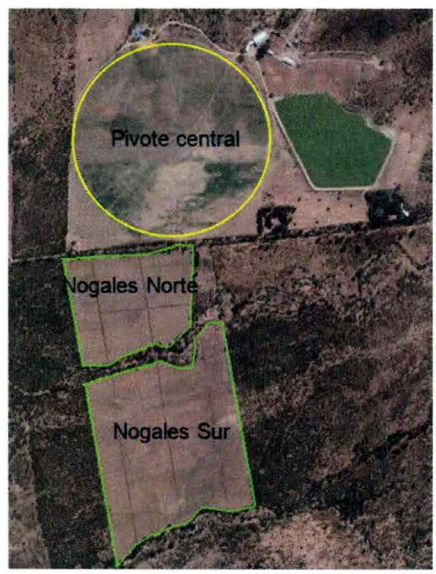

Figura 4: Huerto de Nogales cv. Chandler Fundo Rinconada de Longovilo.

El área del huerto de almendros está dividida en seis zonas de producción (Figuras 5 y 6), estas son: (1) Huañil, de 14 ha; (2) Los Molles, de 20 ha; (3) Los Boldos, de 10 ha; (4) Farid, de 6 ha; (5) Quillayes-Desagües-De Galva, con 34 ha; y (6) Otros sectores, de 6 ha. El marco de plantación del huerto corresponde a 6 metros entre las hileras y 4 metros sobre las hileras, con 417 almendros por hectárea. La profundidad radical de extracción absorbente es de 60 cm promedio, y el caudal de los goteros es de 4 L hr^{-1}, espaciados a 1,0 metro en laterales dobles sobre la hilera.

Figura 5. Almendros Huañil, Los Molles, y Los Boldos.

Figura 6: Almendros Farid - Quillayes - Desagües - De Galva.

1.3 Características de suelo del Fundo Rinconada de Longovilo.

Los suelos del Fundo Rinconada de Longovilo, en función de la información generada por el "Estudio Agrológico de la Región Metropolitana" (CIREN-CORFO, 1996), se caracterizan por ser de las series Santa Rosa y Peumo Chico.

La serie Santa Rosa abarca aproximadamente el área de producción de nogales, y corresponde a suelos de origen coluvial, moderadamente profundo, en posición de plano inclinado (piedemonte) que descansa sobre un sustrato aluvial de piedras, gravas y arenas en la parte alta del piedemonte y sobre el suelos Peumo de Lo Chacón en la parte de menor pendiente, de textura franco arenosa muy fina bien estructurada, que en profundidad se transforma en ligeramente más pesada.

La serie Peumo Chico comprende mayoritariamente el área de producción de almendros, y corresponde a suelos de origen aluvial, estratificados, profundos, que se presentan ocupando la posición de abanicos aluviales en los sectores de la Cordillera de la Costa. Presentan texturas francas en superficie que varían a

franca arenosa en profundidad. La estructura es deficiente salvo en la superficie que presenta bloques finos y medios, débiles. No hay limitaciones de arraigamiento en los primeros 100 cm de suelo.

De acuerdo a la cartografía de suelos proporcionada por CIREN y la comprobación en terreno, en el Fundo Rinconada de Longovilo se observaron variaciones de la serie de suelo:

- Suelos producción de nogales:

$$Símbolo\ Cartográfico = \frac{SRS - D2}{(B)}$$

Corresponde a suelos de textura franco arenoso a franco arcillo arenoso, moderadamente profundos, con buen drenaje y 1 a 3% de pendiente. El Cuadro 1 expone las características de suelo en términos de capacidad y aptitudes de uso de suelo.

Cuadro 1: Capacidad y aptitudes de uso de suelo producción de nogales.

Variables			
Capacidad de uso	II e	Clase de drenaje	5
Categoría de riego	2t	Aptitud frutal	C
Aptitud agrícola	3	Erosión	0

- Suelos producción almendros:

$$Símbolo\ Cartográfico = \frac{PCH - E2}{(B)}$$

Corresponde a suelos de textura superficial franco arenosa, moderadamente profundo. El arraigamiento no supera los 85 cm, con un promedio de 75 cm. Son suelos bien drenados, con 1-2% de pendiente. El Cuadro 2 expone las características de suelo en términos de capacidad y aptitudes de uso de suelo en el área de producción de almendros.

Cuadro 2: Capacidad y aptitudes de uso de suelo producción de almendros.

Variables			
Capacidad de uso	II e	Clase de drenaje	5
Categoría de riego	2s	Aptitud frutal	C
Aptitud agrícola	2	Erosión	0

1.4 Balance hídrico actual Fundo Rinconada de Longovilo.

El Fundo Rinconada de Longovilo cuenta con un tranque de almacenamiento ubicado al Este del pivote central, que posee una capacidad de almacenamiento máxima de 175.000 m^3 dependiente de las precipitaciones. En conjunto, el Fundo Rinconada de Longovilo extrae agua desde el estero Las Diucas y 3 pozos denominados Pivote, Maitenes y Noria. La disponibilidad de agua promedio histórica, la demanda de agua proyectada con los frutales en plena producción, y su respectivo balance con la disponibilidad de agua para los meses de riego, se expone en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Balance hídrico Fundo Rinconada de Longovilo.

Requerimientos (m^3)	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene	Feb.	Mar	Abr.
Almendros	44.930	78.695	97.371	156.782	151.165	133.775	99.536	42.426
Nogales	18.116	31.730	39.260	63.214	60.949	53.938	40.133	17.106
Evap. Tranque	4,648	8,141	10,073	16,219	15,638	13,839	10,297	4,389
Total	63.051	110.433	136.641	220.012	212.130	187.727	139.679	59.536
Disponibilidad (m^3)								
Maitenes	0	0	66.096	66.096	66.096	66.096	66.096	66.096
Noria	0	0	47.952	47.952	47.952	47.952	47.952	47.952
Pivote	0	0	12.960	12.960	12.960	12.960	12.960	12.960
Estero	77.760	51.840	25.920	12.960	0	0	0	0
Precipitaciones	54.701	28.829	10.349	4.435	739	1.478	6.653	29.568
Total	132.461	80.669	163.277	144.403	127.747	128.486	133.661	156.576
Balance (m^3)	69.410	-29.764	26.636	-75.609	-84.383	-59.241	-6.018	97.040
Tranque(m^3)								
Requerimiento	0	29.764	0	75.609	84.383	59.241	6.018	0
Balance Tranque	175.000	145.236	145.236	69.627	-14.756	-73.997	-80.015	17.025
Déficit (m^3)	**0**	**0**	**0**	**0**	**14.756**	**73.997**	**80.015**	**0**
Caudal Requerido ($Lt \cdot s^{-1}$)	**0**	**0**	**0**	**0**	**5.69**	**28.55**	**30.87**	**0**

De acuerdo a lo expuesto en el cuadro anterior, en el Fundo Rinconada de Longovilo existe un déficit hídrico considerable entre los meses de enero y marzo, lo cual impide realizar una gestión óptima del huerto, puesto que la baja disponibilidad de agua impide que durante dichos meses de déficit, los requerimientos hídricos del huerto sean suplidos adecuadamente, traduciéndose en 30,87 ha sin seguridad de riego.

En conjunto a la situación de déficit hídrico existente en el Fundo Rinconada de Longovilo, debe adicionarse el hecho de que éste se encuentra en un área en que los acuíferos están cerrados, es decir, la explotación de nuevas fuentes de agua subterráneas ya no es posible sin afectar a terceros y ni a la sustentabilidad del acuífero del Estero Las Diucas.

Por lo tanto, se requiere del uso de fuentes de agua no convencional para suplir el déficit hídrico presente entre los meses de enero y marzo, para así poder aumentar las hectáreas de nuevo riego en una zona de secano con el estado de los acuíferos cerrado.

1.5 Fuentes de agua no convencional consideradas para el Fundo Rinconada de Longovilo.

Las fuentes de agua no convencional que se consideraron fueron: (1) uso de aguas residuales tratadas de un plantel avícola perteneciente a la empresa AGROSUPER; y (2) Recarga artificial de acuíferos provenientes del Estero las Diucas.

Debe destacarse que AGROSUPER ha decidido participar en el presente proyecto dentro del marco de mejoramiento continuo de su política ambiental, siendo necesario mencionar que AGROSUPER ha estado innovando continuamente sus procesos productivos y de tratamiento del recurso hídrico, con el objetivo de progresar en una gestión ambiental responsable. En relación a lo anterior, desde el año 2000, AGROSUPER ha implementado tecnologías de última generación para el tratamiento de purines de cerdo en varias de sus instalaciones, sustentando el compromiso medioambiental entre la empresa, población y ecosistema. La política de mejoramiento continuo de AGROSUPER se respalda con la suscripción en 1999 y 2005 del Primer y Segundo acuerdo de Producción Limpia (APL) entre la industria productora de carne de cerdo y las autoridades reguladoras, fiscalizadoras y de fomento.

En conjunto, luego de procesos de investigación y selección, para encontrar nuevas opciones de tratamiento de aguas residuales que perfeccionen las eficiencias de tratamiento de los efluentes porcinos, AGROSUPER ha implementado una innovadora alternativa de tratamiento de purines de cerdo; basada en la tecnología de lodos activados, de carácter aeróbica.

De acuerdo a los antecedentes recopilados, las visitas a terreno y entrevistas con los actores relevantes del proyecto, se tuvo conocimiento del plan de manejo y la ya mencionada alternativa de tratamiento de efluentes.

Así, en conjunto a lo contenido en la declaración de impacto ambiental "DIA Grupo de Reproductoras de Cerdos N° 27, Planta de Lodos Activados y Planta de Compostaje, Longovilo" presentada por el holding AGROSUPER, se expone que la familia de planteles de cerdo "Longovilo", se encuentra ubicada en la Comuna de San Pedro, Región Metropolitana, en el sector denominado Los Culenes, que se caracteriza por ser un sector rural.

Esta familia está formada por los Grupos de Reproductoras N° 14, 15, 16 y 22 ya existentes en el sector y el nuevo Grupo 27, al año 2005.

El actual plan de manejo de purines de cerdos, se sustenta en la operación de un sistema de tratamiento basado en la Tecnología de Lodos Activados que sirve a los Grupos de Reproductoras mencionados anteriormente.

El tratamiento de efluentes porcinos mediante un sistema de lodos activados, presenta varias ventajas respecto de los sistemas de lagunas anaeróbicas, destacándose que el sistema produce una reducción significativa de las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero, y que el sistema no presenta olores asociados tradicionalmente al tratamiento de efluentes porcinos. Lo anterior se sustenta en que la estabilización de la materia orgánica se desarrolla de forma aeróbica. Sin embargo, la ventaja significativa radica en la mayor eficiencia en los niveles de reducción de contaminantes, tanto del efluente como atmosféricos.

Finalmente, en la declaración de impacto ambiental antes mencionada, se expone que los efluentes una vez tratados serán utilizados en el riego de 2 predios vecinos, siendo diluidos previamente con agua, a una tasa de al menos 50%. Se excluyen los cultivos de hortalizas que crezcan a ras de suelo y que se consuman sin cocción previa.

1.6 Antecedentes del uso de aguas residuales tratadas.

Considerando que el fundo en el cual se está haciendo el presente estudio es vecino de cuatro planteles de producción de cerdos de la empresa AGROSUPER, se consideró el uso de las aguas residuales tratadas generadas por dicha empresa.

Las ventajas de esta alternativa son:

- AGROSUPER aceptó ceder sus aguas tratadas para el riego.
- El costo de los equipos de bombeo y la conducción podría ser subsidiada mediante la Ley 18.450.
- La fuente de agua está asegurada, mientras operen los planteles.
- La utilización de aguas residuales tratadas disminuiría considerablemente el costo de fertilización en el sistema de producción.

Por otro lado las desventajas de esta alternativa son:

- Se deberá obtener los permisos ambientales correspondientes.
- Pueden existir limitaciones legales y otras asociadas a la calidad del agua tratada.
- Existe un costo de bombeo asociado.

1.7 Antecedentes de la recarga artificial de acuíferos.

Esta es una alternativa para el aumento de la disponibilidad de agua que recién se está discutiendo en Chile.

Básicamente está alternativa consiste en usar los excedentes de agua que se producen durante el invierno para infiltrarlos y acumularlos en los sistemas de aguas subterráneas.

Para el caso del Fundo Rinconada de Longovilo, existe información de los sistemas de agua subterránea, obtenida del estudio "Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del estero Yali hasta sector el Prado, Región Metropolitana", (DGA, 2005),

en el cual se determina que existe un acuífero regional con características de confinado.

La existencia de un acuífero confinado o semi-confinado es consistente con las características geomorfológicas observadas en terreno: suelos graníticos propios de la Cordillera de la Costa, con una matriz limosa (maicillos).

Si bien es cierto que en sectores se pueden ver acumulaciones de arenas, estas son asociadas a escorrentía superficial y no a la presencia de unidades acuíferas importantes, en las cuales se pueda realizar una recarga artificial de aguas subterráneas que sea exitosa.

En consecuencia, para la recarga artificial de acuíferos se estableció un sistema de recarga en profundidad mediante pozos de inyección, puesto que el primer acuífero presente en el Fundo Rinconada de Longovilo, se encontraría entre 25 y 30 m de profundidad, lo cual dificulta la recarga por medios superficiales.

2 Memoria de cálculo y descripción de obras.

2.1. Sistema de impulsión de aguas residuales.

El sistema de impulsión de aguas residuales tiene por objetivo transportar el agua generada por la producción animal de la empresa AGROSUPER, hacia un tranque de acumulación que se construirá en el Fundo Rinconada de Longovilo. La diferencia de cota entre el punto de captación y el tranque de acumulación es de 25 metros.

Una vez que el agua llega al tranque de acumulación de purines tratados, saldría por una tubería hacia la caseta de bombeo existente, la cual se ubica a un costado del tranque de acumulación de agua limpia existente, donde se realizaría la mezcla de las dos aguas.

Las coordenadas UTM del inicio y término del sistema de impulsión de aguas residuales, se exponen en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Coordenadas UTM sistema de impulsión de aguas residuales.

	Inicio	Término
Este	280455	282179
Norte	6245176	6246605
Datum	WGS84	WGS84
Huso	19	19

La Figura 7 ilustra un esquema general de la ubicación del sistema de impulsión de aguas residuales.

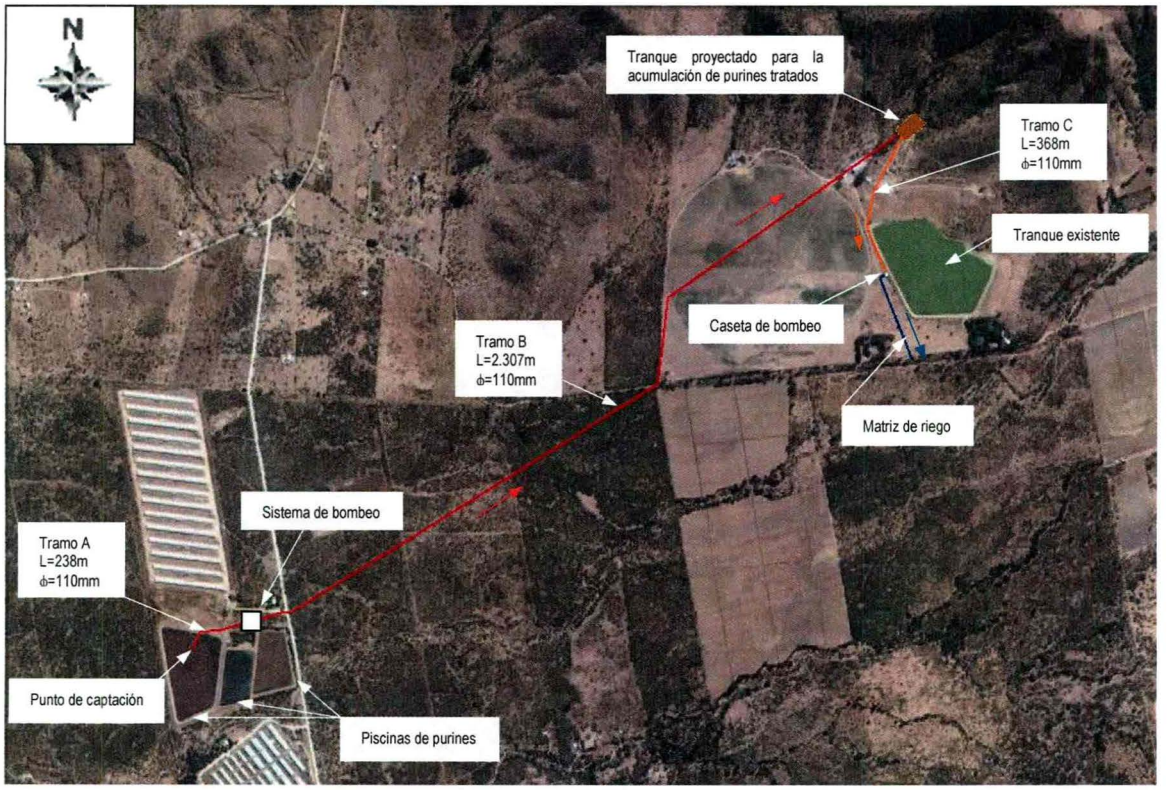

Figura 7: Esquema general ubicación del sistema de impulsión de aguas residuales.

De acuerdo a la figura anterior, para transportar los 10 L s^{-1} con criterios óptimo-económicos, la red de tuberías entre el punto de captación de aguas residuales y el tranque de almacenamiento, comprendió los siguientes tramos y características del sistema de bombeo:

- Tramo A: Punto de captación-Sistema de Bombeo, longitud 238 m, tubería de 110 mm de diámetro, caudal 10 L s^{-1}.
- Tramo B: Sistema de Bombeo-Tranque de acumulación, longitud 2.307 m, tubería de 110 mm de diámetro, caudal 10 L s^{-1}.
- Tramo C: Tranque de acumulación-Caseta de Bombeo del Fundo Rinconada de Longovilo, longitud 368 m, tubería de 110 mm de diámetro, caudal 10 L s^{-1}.
- Sistema de bombeo desde piscina de purines a tranque de acumulación proyectado: Bomba de 10 HP de potencia para un caudal 10 L s^{-1} y 51,46 mca de altura dinámica total.

Se consideró que los criterios optimo-económicos presentados son aquellos en que la suma de los costos fijos y los costos variables del sistema, son los menores. Entendiéndose por costos fijos a los relacionados con la inversión de capital, en cuanto a la compra e instalación de los aspersores, y a los costos variables a aquellos relacionados a los costos de operación del sistema en función de la energía utilizada. A continuación se describen las ecuaciones utilizadas.

Costo fijo anualizado:

$$CF = CA \cdot FRC_{(i\%,n)} \quad [1]$$

Siendo *CA*: costo de tubería ($) y *FRC*: factor de recuperación del capital.

Factor de recuperación del capital:

$$FRC_{(i\%,n)} = \frac{i(i+1)^n}{(i+1)^n - 1} \quad [2]$$

Siendo *i*: interés del capital (%) y *n*: vida útil de la tubería.

Costos variables:

$$CV = \frac{CEE \cdot Qt \cdot Ht}{102} \quad [3]$$

Siendo *CEE*: costo anual equivalente de la energía, *Qt*: caudal total requerido (L s^{-1}), *Ht*: pérdidas de carga (mca).

Costo anual equivalente de la energía:

$$CEE = \frac{to \cdot C_e \cdot FEE}{ef \cdot PPUC} \quad [4]$$

Siendo to: número de horas de operación por año, Ce: costo de la energía ($), FEE (e,i,n) es el factor de costo equivalente para una tasa de incremento anual de energía e, un interés i, y una vida útil nv. Finalmente, ef corresponde a la eficiencia de la bomba como fracción decimal, PPUC potencia generada por unidad de combustible.

Factor de costo equivalente para una tasa de incremento anual de energía:

$$FEE_{(i\%,\varepsilon,n)} = \left[\frac{(1+\varepsilon)^n - (1+i)^n}{(1+\varepsilon)-(1+i)}\right] \cdot \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right] \quad [5]$$

Siendo $\mathcal{E}$ la tasa anual de aumento del costo de la energía.

Por otro lado, el sistema de bombeo se determinó en función de las siguientes expresiones:

Potencia del equipo:

$$Potencia = \frac{Qt \cdot hdt}{fe \cdot ef} \quad [6]$$

Siendo *hdt*: altura dinámica total (mca), *fe* el factor de conversión de potencia, siendo igual a 75 para el cálculo en HP, y *ef* la eficiencia de la bomba.

Pérdidas de carga:

Fueron determinadas según la expresión de Darcy-Weisbach de acuerdo a la siguiente expresión:

$$HfLat\ (mca) = 0.02 \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{Vf^2}{2g} \cdot f_{sm} \quad [7]$$

Siendo *L:* largo de la tubería (m), *d:* diámetro de la tubería (m), *Vf*: velocidad de flujo del fluido ($m \cdot s^{-1}$), *g*: aceleración de gravedad ($m \cdot s^{-1}$), y f_{sm}: factor de salidas múltiples, el cual fue 1 en este caso, puesto que se considera sólo una salida. La velocidad de flujo *Vf* se determinó según:

$$Vf = \left(\frac{4Qt}{\pi d^2}\right) \quad [8]$$

Expresando *Qt* en $m^3 \cdot s^{-1}$.

Finalmente, el costo total por cada 100 m de tubería se determinó según:

$$CT_{100\ m} = CF + CV \quad [9]$$

A continuación se describe en detalle el cálculo para el Tramo A, siendo el procedimiento válido para el resto de los tramos de la red de tuberías.

Igualmente, se proporciona el detalle del cálculo del sistema de bombeo, considerando lo expuesto en el Cuadro 5, en la cual se definen los parámetros considerados que se incluyeron en el cálculo tomando electricidad como fuente energética.

Cuadro 5: Variables técnico-económicas para en el cálculo del diámetro de tuberías.

Variables	
Interés anual banco	0.1
Vida útil tuberías	20
Tasa incremento energía	0.07
Costo Energía ($)	50
Nº horas operación equipo/año	2.160
Potencia/Unidad combustible	1.20
Eficiencia Bomba	0.70
Costo Instalación/m	$550

Cálculo Tramo A: Punto de captación-Sistema de Bombeo, longitud 238 m, tubería de 110 mm de diámetro, caudal 10 L s^{-1} (Costo tubería/m: $2.967):

$$FRC_{(i\%,n)} = \frac{0{,}1(0.1+1)^{20}}{(0{,}1+1)^{20}-1} = 0{,}11746$$

$$CF = [(238 \cdot 2.967) + (238 \cdot 550)] \cdot 0{,}11746 = \$98.328$$

$$FEE_{(i\%,E,n)} = \left[\frac{(1+0{,}07)^{20}-(1+0{,}1)^{20}}{(1+0{,}07)-(1+0{,}1)}\right] \cdot \left[\frac{0{,}1}{(1+0{,}1)^{20}-1}\right] = 1{,}6632$$

$$CEE = \frac{2.160 \cdot 50 \cdot 1{,}6632}{0{,}7 \cdot 1{,}2} = \$213.842$$

$$Vf = \left(\frac{4 \cdot 0{,}01}{\pi \cdot 0{,}11^2}\right) = 1{,}05$$

$$HfLat\ (mca) = 0.02 \cdot \frac{238}{0{,}11} \cdot \frac{1.05^2}{2 \cdot 9{,}8} \cdot 1 = 2{,}44\ mca$$

$$CV = \frac{213.842 \cdot 10 \cdot 2{,}44}{102} = \$51.303$$

$$CT_{100\,m} = 98.328 + 51.303 = \$149.631$$

Los cálculos realizados determinaron que el diámetro óptimo económico para el Tramo A correspondió a 110 mm, al ser éste el que presentó el menor costo total (Cuadro 6).

Cuadro 6: Diámetros óptimo económicos subsistema Tramo A.

Diámetro Tubería (mm)	CF ($)	CV ($)	$CT_{100\,m}$ ($)
75	69.362	348.175	417.537
90	84.360	139.924	224.284
110	98.328	51.303	149.631
125	123.288	27.074	150.362
140	182.572	15.363	197.935

Para el resto de las tuberías del sistema de impulsión de aguas residuales, se realizó el mismo procedimiento, obteniéndose como resultado que al igual que para el Tramo A, los Tramos B y C comprendería tuberías de 110 mm de diámetro al presentar éstas el menor costo total (Figuras 8 a 10).

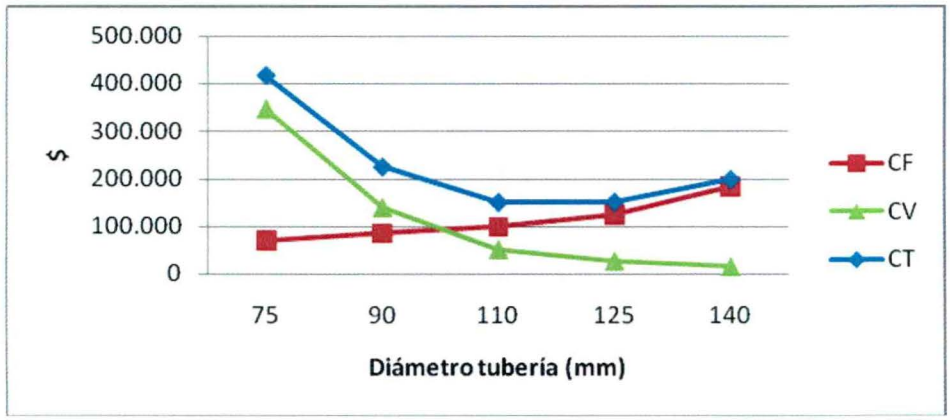

Figura 8: Diámetro óptimo económico tubería Tramo A.

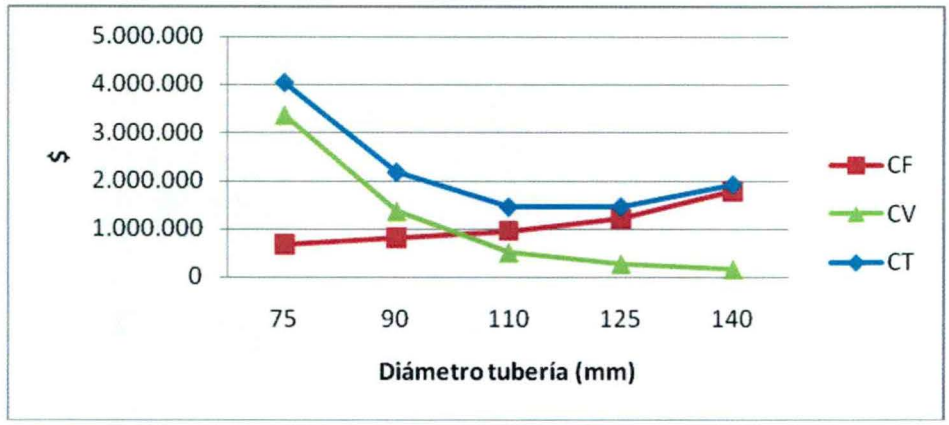

Figura 9: Diámetro óptimo económico tubería Tramo B.

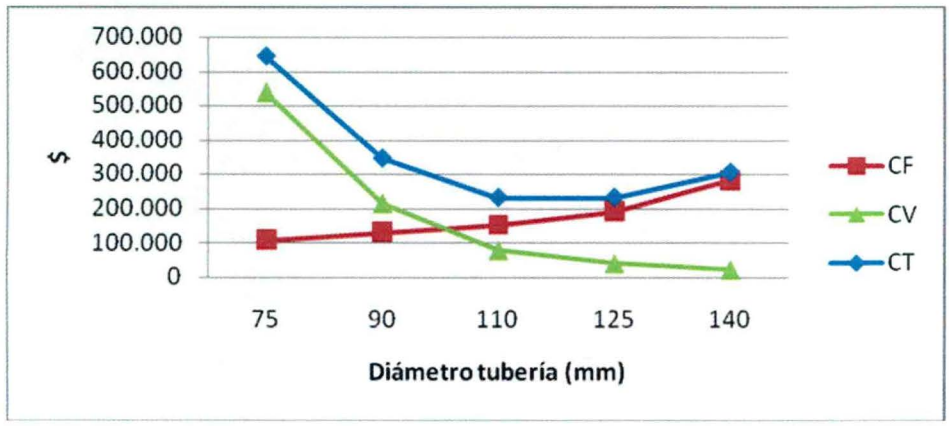

Figura 10: Diámetro óptimo económico tubería Tramo C.

El Cuadro 7 expone los diámetros y longitudes de los tramos finalmente calculados y escogidos para el sistema de impulsión de aguas residuales.

Cuadro 7: Diámetros y longitudes de tuberías del sistema de impulsión de Aguas Residuales.

Tramos	Desde	Hasta	Diámetro (mm)	Longitud (m)
Tramo A	Punto captación	Sistema bombeo	110	238
Tramo B	Sistema bombeo	Tranque acumulación	110	2.307
Tramo C	Tranque acumulación	Caseta bombeo	110	368

Posteriormente, la potencia del equipo de bombeo se determinó considerando lo expuesto en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Altura dinámica total del sistema de impulsión de aguas residuales.

Pérdidas de carga (hf)	mca
Diferencia cota Bomba-Tranque	25
Tramo A	2.44
Tramo B	22.72
Singularidades (5% hf)	1.30
Altura dinámica total	51.46

$$Potencia = \frac{10 \cdot 51.46}{75 \cdot 0.75} \approx 10\ HP$$

Se destaca que la conducción del caudal, en el Tramo C del sistema, se realizará de forma gravitacional aprovechando la diferencia de cota, la cual proporcionará una presión de 13 mca.

2.2. Tranque de acumulación.

Se determinó que el tranque de acumulación debía ser construido en una zona de baja pendiente y que cumpliera con las características para que **no sea considerado como una obra mayor**, es decir, el tranque debería tener una capacidad de almacenamiento menor a 50.000 m^3 y un muro menor a 5 m de altura.

Por lo tanto, se determinó que la construcción del tranque debía realizarse en un área relativamente plana, por lo que se estableció la ubicación del tranque de almacenamiento en una zona al norte del actual tranque, como lo ilustra la Figura 11.

Figura 11: Zona de construcción del tranque de acumulación.

El Cuadro 9 expone las coordenadas de los bordes del tranque de acumulación de aguas residuales.

Cuadro 9: Coordenadas UTM tranque de acumulación de aguas residuales.

	Borde 1	Borde 2	Borde 3	Borde 4
Este	282179	282231	282237	282177
Norte	6246605	6246607	6246638	6246635
Datum	WGS84	WGS84	WGS84	WGS84
Huso	19	19	19	19

Según lo requerido por parte del Fundo Rinconada de Longovilo, el tranque debería tener la capacidad de almacenar durante 7 días seguidos el caudal de 10 L s^{-1} otorgado por la empresa AGROSUPER. Adicionalmente, se requería que el ciclo de operación del Tramo C fuera a su vez cada 7 días. Finalmente, se debió considerar también la capacidad de almacenar el agua proveniente de las precipitaciones, que corresponden a 600 mm·año^{-1} en promedio para un año normal, y la escorrentía producida en la cuenca que tiene un valor de 454 m^3 (Cuadro 10).

Cuadro 10: Precipitaciones y escorrentía promedio históricas del Fundo Rinconada de Longovilo.

Mes	Pp (mm)	Escorrentía (m^3)	Pp (m^3 por área tranque)	Pp (m^3 acumulados)
Enero	0,6	0,45	1,0	1,0
Febrero	1,2	0,91	2,0	3,0
Marzo	5,4	4,08	9,1	12,1
Abril	24,0	18,13	40,3	52,4
Mayo	122,4	92,47	205,6	258
Junio	136,2	103,90	228,8	486,8
Julio	174,6	131,91	293,3	780,1
Agosto	55,8	42,16	93,7	873,8
Septiembre	44,4	33,54	74,6	948,4
Octubre	23,4	17,68	39,3	987,7
Noviembre	8,4	6,35	14,1	1.001,8
Diciembre	3,6	2,72	6,0	1.007,8
Total	600,0	454,0	1.007,8	

La descarga de aguas residuales significará un volumen almacenado de 864 m^3 $día^{-1}$, lo que determina que en 7 días de llenado del tranque, éste almacenará un volumen de 6.048 m^3, mientras que en el área del tranque precipitará un volumen equivalente a 1.008 m^3 $año^{-1}$, siendo Julio el mes de máxima precipitación, con 174,6 mm concentrando el 27% de las precipitaciones anuales. Esto equivale a que en promedio, el tranque estará recibiendo un volumen de precipitaciones de 9,78 m^3 $día^{-1}$, durante el mes de máxima precipitación, lo que en 7 días del ciclo de operación corresponde a 68.46 m^3. Finalmente, considerando que el tranque debe ser capaz de almacenar a su vez la escorrentía que aporta la cuenca producto de las precipitaciones (454 m^3 $año^{-1}$), la capacidad de almacenamiento critica del tranque se estimó en aprox. 6.600 m^3.

Considerando lo anterior, el tranque que se construirá tendrá un área de 1.680 m^2 y una profundidad de 4 m, lo que determina una capacidad de almacenamiento de 6.720 m^3.

Esto permite cumplir con los requerimientos de almacenamiento de precipitaciones, escorrentía, disposiciones del Fundo Rinconada de Longovilo y la empresa AGROSUPER.

El Cuadro 11 expone las dimensiones del tranque para abarcar los 6.720 m^3 de capacidad de almacenamiento.

Cuadro 11: Dimensiones tranque de almacenamiento.

Dimensión	Valor
Largo Sur	52 m
Largo Norte	60 m
Ancho Este	31.6 m
Ancho Oeste	30 m
Área tranque	1.680 m^2
Profundidad	4,0 m
Volumen Tranque	6.720 m^3

2.2.1. Características relevantes del tranque de almacenamiento.

- Revestimiento de la superficie:

El material utilizado en la superficie del tranque corresponderá a una capa de Geomembrana de HDPE y PVC de 2 mm de espesor.

La obra excavada en tierra deberá tener las siguientes características:

- Los taludes de muros estarán perfilados y libres de piedras con aristas cortantes, ramas ó cualquier elemento que pueda dañar el material.

- El fondo de la poza de inundación, deberá estar nivelada y cubierta por una capa de arena fina de 10 cm para disminuir el riesgo de erosión de la Geomembrana.
- La zanja de anclaje de la lámina, deberá estar excavada por todo el perímetro del tranque, a una distancia del borde no inferior a 60 cm y sus dimensiones serán de 50 cm de profundidad por 50 cm. de ancho, se utilizará tierra seleccionada proveniente de la misma excavación para el tapado de la zanja.

- Altura del muro:

Se consideró la construcción de un muro el área de cota inferior del área del tranque con el objetivo de evitar rebalses por efectos del viento y producción de olas sobre el agua almacenada en el tranque a 4 m de profundidad.

Por lo tanto, la altura del muro tranque se determinó por la siguiente expresión:

$$Hm = N + hv + (Blm + Fla) \quad [10]$$

Siendo *Hm* la altura total del muro, *N* la diferencia de cota entre el punto más bajo y alto del tranque (2,0 m), *hv* la carga máxima del vertedero, *Blm* el borde libre mínimo, y *Fla* la flecha de asentamiento del muro.

La carga máxima del vertedero se ajustó en 0 m por condición de diseño para maximizar el volumen a embalsar.

El borde libre, se calcula con las recomendaciones del USBR, de acuerdo al Feth que se produce en la poza de inundación máxima.

- Fetch = 0,3 Km
- Velocidad de viento promedio = 60 Km hr^{-1}
- Altura ola = 0,3 m
- Borde Libre = 0,6 m.

La flecha de asentamiento del muro corresponde a la altura libre dejada para prevenir los futuros asentamientos de la cimentación o por la consolidación del terraplén, estimándose adecuado pronosticar una flecha equivalente a un 1,5% de la altura del muro.

Reemplazando los valores se obtiene la altura total del muro.

$$Hm = 2 + 0 + (0.6 + 0.09) = 2.69\ m$$

Hm se aproximó a 2,7 m, siendo este valor la máxima altura del pretil que conformará el muro del tranque de acumulación, cumpliendo con los requisitos de que el tranque sea considerado como una obra menor.

- Coronamiento del muro:

La anchura del coronamiento depende del tipo de material, del uso como camino, facilidad de construcción, altura, entre otros. Debida a la dificultad de establecer y cuantificar estos parámetros, se utiliza a la relación empírica dada por el USBR:

$$B = \frac{Hm}{5} + 10 \qquad [11]$$

Siendo B el ancho de la corona en pies y Hm la altura máxima del muro en pies Sustituyendo en la expresión anterior se obtiene:

$$B = \frac{8.86}{5} + 10 = 11.772\ pies \approx 3.57\ m$$

En consecuencia, 11.772 pies equivale a 3.57 m, lo que al aproximarse se obtiene una corona del muro igual a 3.6 m.

- Tubería de fondo:

Se consideró una tubería de aluminio de 110 mm de diámetro nominal, con tratamiento interior bituminoso y exterior con dos manos de anti óxido, contemplando además una cámara de entrada y otra de salida, regulándose mediante una válvula solenoide. La longitud de la tubería de fondo es de 368 m, distancia correspondiente desde el tranque de acumulación hasta el sistema de inyección (Venturi) en la caseta de bombeo.

- Monitoreo de Parámetros Físico-Químico de Efluentes:

Se destaca que la empresa AGROSUPER desarrolla como práctica común, el monitoreo del funcionamiento del sistema de tratamiento a través del análisis de los parámetros más relevantes, con el objeto de verificar su operación y eficiencia. En este sentido, está comprometido un monitoreo continuo de los parámetros DBO_5 y Nitrógeno Total. Asimismo, es adecuado que el Fundo Rinconada de Longovilo igualmente realice un sistema de monitoreo de éstas variables para asegurar así el óptimo funcionamiento del sistema.

- Balance de Nitrógeno:

En primera instancia, se debe considerar la demanda de Nitrógeno por parte de los frutales presentes en el Fundo Rinconada de Longovilo, lo que según éste, equivalen en promedio a 115 kg $N^{-1}ha^{-1}$.

La carga de Nitrógeno C en Kg $año^{-1}$, que aportaran los efluentes se determinó según lo siguiente:

$$C = \frac{Qe \cdot cN \cdot 365}{1.000} \qquad [12]$$

Siendo *Qe* el caudal efluente de aguas residuales tratadas del tranque de acumulación en $m^3 \cdot día^{-1}$, *cN* la concentración de Nitrógeno en ppm. Actualmente se considera que el valor de Cn es equivalente a 300 ppm de Nitrógeno.

Reemplazando, se obtuvo que la carga de Nitrógeno equivale a:

$$C = \frac{2.160 \cdot 300 \cdot 365}{1.000} = 236.520\ \text{Kg} \cdot \text{año}^{-1}$$

En consiguiente, la fracción del nitrógeno total aplicado que es eliminado por lixiviación y volatilización de acuerdo a los valores recomendados en los documentos EPA y en la 3° edición Metcalf & Eddy, en un 25%. Por lo tanto, el balance de Nitrógeno para los frutales del fundo Rinconada de Longovilo se determinó según:

$$BN = \frac{[C \cdot (1 - 25\%)] \cdot ReqN/ha}{SupReg} \quad [13]$$

Siendo BN el balance de Nitrógeno en Kg $ha^{-1}año^{-1}$, ReqN el requerimiento de Nitrógeno es por hectárea, y SupReg la superficie a regar. Ésta última correspondió a toda el área cultivada del Fundo Rinconada de Longovilo, siendo igual a 151,2 ha.

Reemplazando en la expresión anterior, se obtuvo que el balance de Nitrógeno equivalió a:

$$BN = \frac{[236.520 \cdot (1 - 25\%)] - (115 \cdot 151.2)}{151.2} = 1.058\ \text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$$

Lo anterior significa que existe una sobre aplicación de Nitrógeno al sistema agro productivo. Sin embargo, como el proyecto considera la dilución de los efluentes en una razón 1:4, se obtuvo el siguiente resultado:

$$BN = \frac{[59.130 \cdot (1 - 25\%)] - (115 * 151.1)}{151.2} = 178{,}3\ \text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$$

2.3. Sistema de dilución de aguas residuales.

El uso de aguas residuales tratadas como fuente de riego, quedará sujeto a previa dilución antes de ingresar al sistema de riego, con el objetivo de cumplir lo estipulado en la NCh 1.333of78, sobre la calidad de agua para uso en riego Silvoagropecuario.

En base al análisis de calidad de agua aportado por la Empresa AGROSUPER, el cual se aprecia en el Cuadro 12, será necesario realizar una dilución de 1:4,3 veces para poder cumplir con los requerimientos de niveles máximos en cada uno de los elementos y así evitar potenciales problemas tanto para la salud humana, animal y medioambiental como para los sistemas de riego.

Cuadro 12: Características del agua residual tratada en la salida de la planta.

Indicador Unidad Estándar	NCh 1.933	AGROSUPER	Dilución
Aluminio $mg \cdot lt^{-1}$	5	20,3	4,721
Arsénico $mg \cdot lt^{-1}$	0,1	0,006	0,001
Bario $mg \cdot lt^{-1}$	4	3,35	0,779
Berilio $mg \cdot lt^{-1}$	0,1	0,01	0,002
Boro $mg \cdot lt^{-1}$	0,75	2,11	0,491
Cadmio $mg \cdot lt^{-1}$	0,01	0,02	0,005
Cianuro $mg \cdot lt^{-1}$	0,2	0,02	0,005
Cloruros $mg \cdot lt^{-1}$	200	856	199,070
Cobalto $mg \cdot lt^{-1}$	0,05	0,03	0,007
Cobre $mg \cdot lt^{-1}$	0,2	0	0,000
Coliformes fecales NMP por 100 ml	1000	0	0,000
Conductividad específica $umhos \cdot cm^{-1}$	750-7.500	5,21	1,212
Cromo $mg \cdot lt^{-1}$	0,1	0,17	0,040
Fluoruros $mg \cdot lt^{-1}$	1	0,36	0,084
Hierro $mg \cdot lt^{-1}$	5	0	0,000

Cuadro 12 (Continuación): Características del agua residual tratada en la salida de la planta.

Indicador Unidad Estándar	NCh 1.933	AGROSUPER	Dilución
Litio $mg \cdot lt^{-1}$	2,5	0,1	0,023
Litio (cítricos) $mg \cdot lt^{-1}$	0,075	0	0,000
Manganeso $mg \cdot lt^{-1}$	0,2	0	0,000
Mercurio $mg \cdot lt^{-1}$	0,001	0,0005	0,000
Molibdeno $mg \cdot lt^{-1}$	0,01	0,01	0,002
Níquel $mg \cdot lt^{-1}$	0,2	0,27	0,063
Nitrógeno	1.000	300	69,767
pH	5,5 -9	6,2	6,2
Plata $mg \cdot lt^{-1}$	0,2	0,05	0,012
Plomo $mg \cdot lt^{-1}$	5	0	0,000
Selenio $mg \cdot lt^{-1}$	0,02	0,006	0,001
Sodio $mg \cdot lt^{-1}$	35	0,043	0,010
Sólidos disueltos totales $mg \cdot lt^{-1}$	5.000	12.046	2.801,395
Sulfatos $mg \cdot lt^{-1}$	250	132	30,698
Vanadio $mg \cdot lt^{-1}$	0,1	0,02	0,005
Zinc $mg \cdot lt^{-1}$	2	0	0,000

La dilución de las aguas residuales, se realizará mediante un sistema Venturi a la entrada del Sistema de riego y se hará mediante la incorporación de las aguas provenientes del tranque de acumulación principal. Luego de realizada la dilución, los niveles resultantes se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos estipulados en la NCh 1.333, lo que permitiría utilizar las aguas residuales para el riego agrícola de los cultivos de Almendros y Nogales del Fundo.

2.4. Recarga artificial de acuífero Estero Las Diucas.

La Dirección General de Aguas, en su resolución Nº 425 publicada en el Diario Oficial el 16 de Abril de 2008, el Art. 34, postula que quienes deseen ejecutar obras de recarga artificial de acuíferos, deberán entregar una memoria técnica que contenga a lo menos, lo siguiente:

(1) Descripción del sistema de recarga artificial.

(2) Descripción de la naturaleza física y situación jurídica del agua a utilizar en la recarga artificial.

(3) Descripción del sitio de la recarga.

(4) Características geológicas e hidrogeológicas del sector.

(5) Características de la zona no saturada.

(6) Características del acuífero.

En consecuencia, estos puntos fueron incluidos en la formulación y evaluación del proyecto expuesto en el presente estudio, con el objetivo de cumplir con la normativa legal de recarga artificial de acuíferos, detallándose a continuación aquellos puntos que aún no se han expuesto hasta este punto.

El método de recarga artificial será realizado mediante un sistema de infiltración hacia el acuífero en profundidad, utilizando la estrategia de recarga denominada "Sondeo de inyección", en la cual se inyectará agua hacia el acuífero mediante la construcción de sondeos profundos, siendo éstos muy similares a un pozo de inspección.

El sistema de recarga artificial constituirá un punto de captación y un punto de infiltración, siendo el agua a utilizar aquella disponible del Estero las Diucas durante los meses Mayo a Agosto, para ser utilizada entre los meses Noviembre a Febrero.

El Cuadro 13 expone las coordenadas de los puntos de captación e infiltración del sistema de recarga.

Cuadro 13: Coordenadas del sistema de recarga artificial de acuífero (Datum WGS84).

	Punto de captación	Punto de infiltración
Este	283964	282165
Norte	6247548	6245246

La Figura 12 ilustra la ubicación de los puntos del sistema de recarga y la línea de conducción hidráulica.

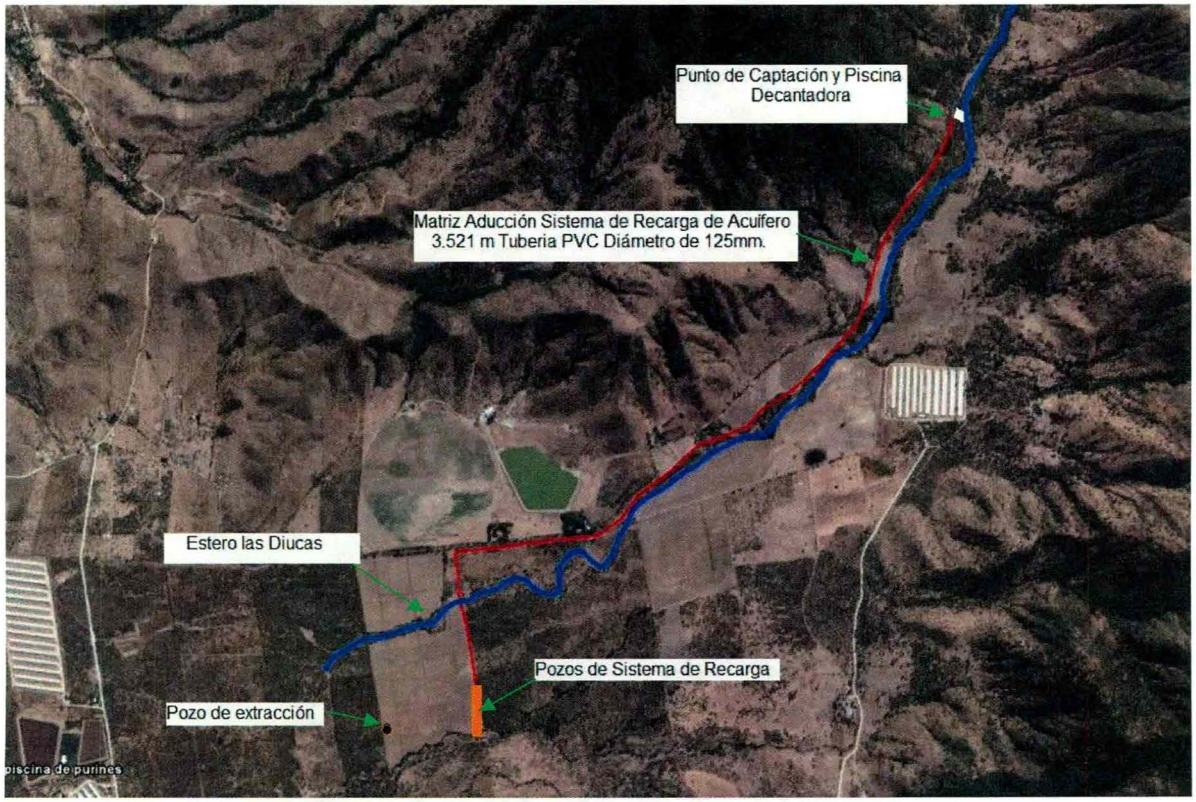

Figura 12: Sistema de recarga artificial de acuífero Fundo Rinconada de Longovilo.

La distancia considerada entre el punto de captación y de infiltración, correspondió a 3.521 m, lo que en definitiva se utilizó para el trazado hidráulico y sus respectivas características, las que se detallan a continuación:

- Esquema general sistema de recarga:

El sistema de recarga artificial consistirá en la unión de seis subsistemas consecutivos iniciando desde el punto de captación en el Estero Las Diucas, para luego transportar el agua a través de una cámara de ingreso, un desarenador, un sistema de filtraje, válvulas de alivio (doble propósito), y finalmente, llegar a los pozos de infiltración. La Figura 13 ilustra el esquema general del sistema de recarga artificial de acuífero para el Fundo Rinconada de Longovilo.

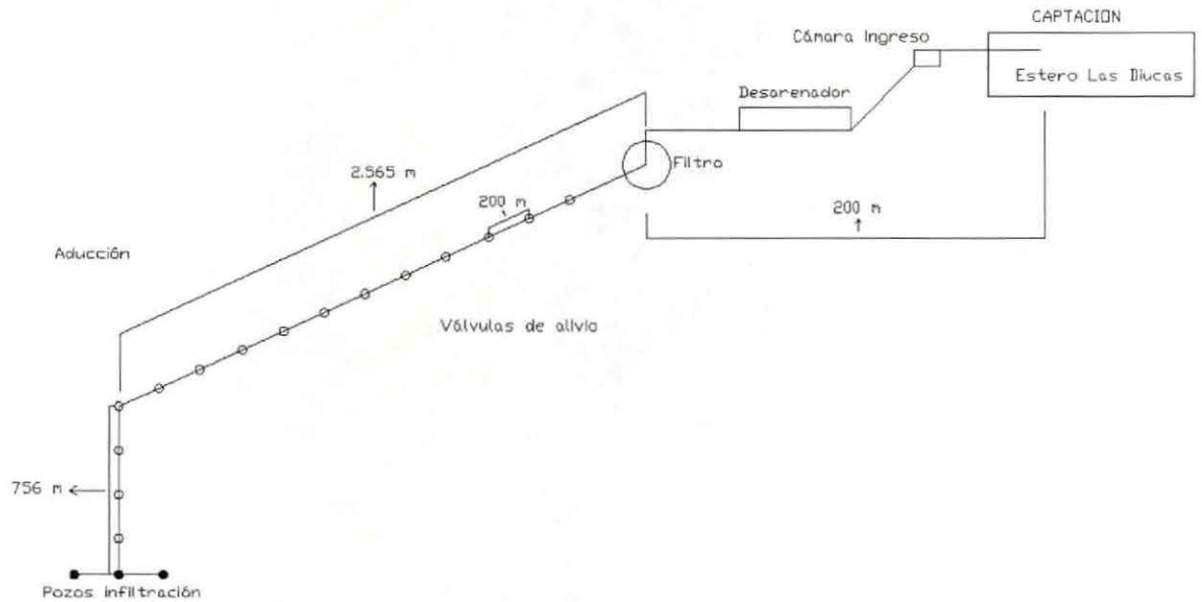

Figura 13: Esquema general de recarga artificial de acuífero.

- Punto de captación y cámara de ingreso:

La captación del agua a utilizar para la recarga artificial, se realizará mediante la construcción de un muro temporal de gaviones, el cual estará operativo durante los meses que se recargue el acuífero (Mayo a Agosto) y que tendrá la función de desviar el cauce del Estero Las Diucas hacia una cámara de ingreso que contendrá la tubería del sistema de conducción hacia el punto de infiltración.

Según las normativas vigentes expuestas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), el muro temporal de gaviones deberá corresponder a una estructura tipo dique de de 1,5 m de altura. Los gaviones base deberán ser enterrados y empotrados en los taludes laterales a una profundidad de 0,5 m, siendo esto fundamental para evitar la pérdida de estructura del muro y asegurar su integridad funcional. Por otro lado, se estableció la longitud del dique que se construirá en 6 m, puesto que con dicha longitud se pretende abarcar de ribera a ribera el cauce del Estero Las Diucas, estabilizando el flujo de entrada a hacia la cámara de ingreso.

En la parte posterior del muro, se deberá construir un piedraplen para facilitar la operación y monitoreo del sistema de recarga en el punto de captación. Las dimensiones del piedraplen (base antisocavante) serán 7,2 m de ancho para abarcar la totalidad del ancho del muro de gaviones como la del Estero Las Diucas y 3,2 m de largo para disminuir el efecto erosivo del caudal de retorno al estero (Según recomendaciones del Manual de "Mamposteria gavionada en la protección hidrológico forestal", CONAF, año 1982). Así, se determinó un área de 23 m^2 de piedraplen.

Para evacuar la descarga se construirá un vertedero de sección rectangular de 0,6 m y un disipador de energía de 3 m para amortiguar el impacto del flujo de agua y disminuir la erosión de la estructura del muro.

El control de flujo realizado por el muro temporal de gaviones conducirá el agua hacia la cámara de ingreso, la cual regulará la entrada de agua hacia la tubería de recarga del sistema, a la cual, sólo ingresará el volumen de agua que la

tubería permita, siendo el resto del volumen de agua rebalsado y devuelto al piedraplen y al estero.

La cámara de ingreso consistirá en una estructura del tipo cuadrada, excavada en terreno a una profundidad de 60 cm, con un radier de hormigón de 10 cm y una longitud base de 1,2 m. Así, el volumen de agua que contendrá la cámara de ingreso será de 0,864 m^3.

En función de la disponibilidad de agua del estero durante los meses que se pretende recargar el acuífero, el caudal a infiltrar se estableció en 20 L s^{-1}, por lo que en conjunto a los metros de tubería requeridos, se determinó que el sistema de conducción tendría una tubería de 125 mm de diámetro tanto como para la entrada a la cámara, como para la tubería de recarga.

Los cálculos para determinar el diámetro de las tuberías se establecieron en función de las Ecuaciones 1 a 9. La Figura 14 ilustra la vista frontal del muro de gaviones en el punto de captación de las aguas para la recarga artificial de acuífero, mientras que la Figura 15 ilustra el esquema de la cámara de ingreso y control de flujo.

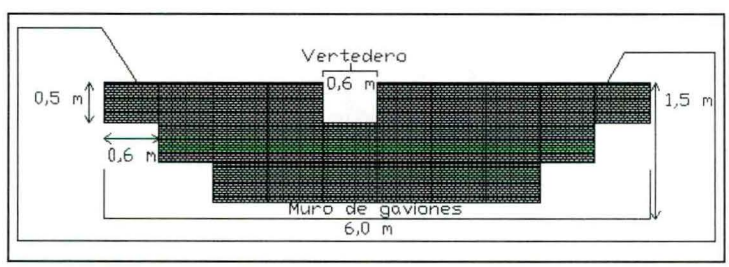

Figura 14: Vista frontal muro de gaviones en el Estero Las Diucas.

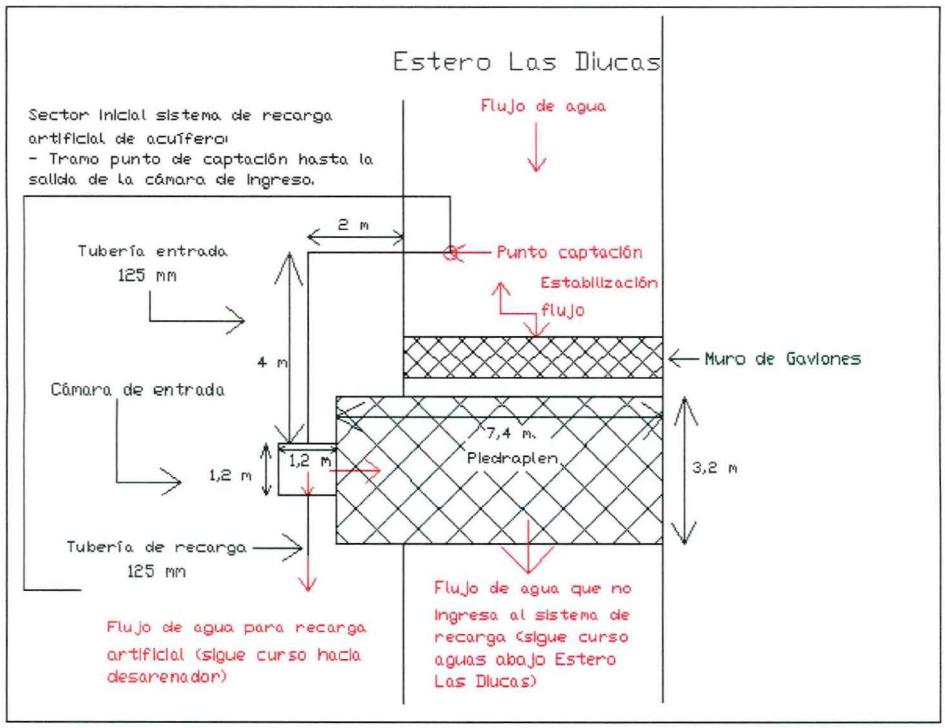

Figura 15: Cámara de ingreso y control de flujo de entrada al sistema de recarga.

- <u>Desarenador y sistema de filtraje:</u>

De acuerdo a la información proporcionada por el Fundo Rinconada de Longovilo, el agua del Estero Las Diucas que escurre por la propiedad, posee en promedio una concentración igual a 140 ppm de sólidos inorgánicos y 5 ppm de sólidos orgánicos (Resultados entregados por AgroLab, en función de una muestra de agua enviada por parte del Fundo Rinconada de Longovilo). Las características de calidad de agua determinaron la necesidad de construir un desarenador y un sistema de filtraje para no alterar las características de calidad del acuífero que se va a recargar.

Para diseñar el desarenador, para un caudal de 72 m^3 hr^{-1}, se consideró adecuado fijar un Mesh de 230 para un tamaño de partícula de 0.051 mm de diámetro (51 *u*m). Definido lo anterior, se determino la velocidad terminal del desarenador utilizando la siguiente expresión:

$$V_t = 5{,}71667 \cdot 10^{-7} \cdot Dv^2 \cdot (\rho_s - 1) \qquad [14]$$

Siendo V_t la velocidad terminal ($m \cdot s^{-1}$), *Dv* el diámetro (*um*) de poro según Mesh escogido, y ρ_s se consideró un valor de 2,6 (rango 2,53 a 2,67).

Reemplazando, se obtiene:

$$V_t = 5.71667 \cdot 10^{-7} \cdot 51^2 \cdot (2{,}6 - 1) = 0.024\, m \cdot s^{-1}$$

Con la velocidad terminal determinada, se procedió a calcular el área del desarenador según:

$$A_d = \frac{F \cdot Q}{V_t} \qquad [15]$$

Siendo A_d el área del desarenador (m^2), F un factor de sedimentación igual a 6, y Q el caudal a desarenar ($m^3 \cdot s^{-1}$).

Reemplazando, se obtiene:

$$A_d = \frac{6 \cdot 0{,}02}{0{,}024} = 3.3\ m^2$$

Posteriormente, se determinó el largo y ancho del desarenador en función de las siguientes expresiones.

$$B = \frac{\sqrt{A_d}}{\sqrt{5}} \qquad [16]$$

$$L = 5 \cdot 2B \qquad [17]$$

Siendo *B* el ancho del desarenador (m) y *L* el largo del desarenador (m).

Reemplazando, se obtiene:

$$B = \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{5}} = 1{,}0\ m$$

$$L = 5 \cdot 2 \cdot 1 = 10\ m$$

En consecuencia, considerando una profundidad del desarenador igual a 1 metro, el volumen del desarenador fue determinado en 10 m^3.

En cuanto al sistema de filtraje, se consideró la utilización de filtros de arena, para lo cual, en primera instancia, se determino un diámetro estándar del filtro de arena, el cual se fue ajustando para obtener que la pérdida de carga en el filtro de arena no supere las 4 mca como criterio de diseño.

Para esto, se procedió a determinar el tipo de arena que contendría el filtro, la cual correspondió a arena de sílice. Las características de ésta última, según el Mesh determinado de 230, determinan una textura semirugosa, número 20, 0.46 mm de diámetro efectivo (d_p), una relación de porosidad (Fp) de 0,4 y un potencial de relación granular (ψp) de 0,81

Expuesto lo anterior, se procedió a determinar las características físicas del filtro y la pérdida de carga asociada al paso del caudal de recarga.

Por lo tanto, primero se debió calcular el área del filtro, para lo cual se utilizó la siguiente expresión, que involucra el diámetro físico del filtro escogido con anterioridad:

$$A_f = \frac{\pi \cdot Df^2}{4} \qquad [18]$$

Siendo *Af* el área del filtro de arena (m^2) y *Df* en diámetro físico escogido del filtro de arena (1,2 m).

En segunda instancia, se determinó la velocidad del flujo de agua que atravesaría el filtro de arena, lo cual se estimó según:

$$V = \frac{\left(\frac{Q}{Nº\ Filtros}\right)}{A} \qquad [19]$$

Siendo *V* la velocidad de flujo del agua que pasa por el filtro, *Q* el caudal a filtrar según cálculos de diseño $(m^3 \cdot hr^{-1})$. Para el diseño se consideró 2 filtros de arena.

Posteriormente, la profundidad de la cama de arena del filtro, se calculó en función de:

$$prof = \frac{V \cdot d_p^3 \cdot Hf\ max}{ib} \qquad [20]$$

Siendo *prof* la profundidad de la cama de arena (m), *V* la velocidad del flujo (m hr^{-1}), d_p el diámetro efectivo de arena constituyente del filtro (m), *Hf max* la pérdida de carga máxima permitida (mca), e *ib* el índice de Bursa = $17{,}6 \cdot 10^{-8}$.

Por otro lado, la pérdida de carga que ocurrirá en el filtro de arena se determinó de acuerdo a lo siguiente:

$$Hf_{filtro} = \frac{prof \cdot k}{g} \cdot (V \cdot u) \cdot \frac{(1 - Fp)^2}{Fp^3} \cdot \left(\frac{6}{\psi p \cdot d_p}\right)^2 \qquad [21]$$

Siendo Hf_{filtro} la pérdida de carga en el filtro (mca), *k* el coeficiente de conductividad hidráulica igual a 5, ψp, d_p y *Fp* son valores promedios en función del tipo de arena, u es la viscosidad cinemática igual a 10^{-6} m s^{-1}, y *g* la aceleración de gravedad (m^2 s^{-2}).

La expresión anterior estuvo asociada a la acumulación de partículas al interior del filtro desde también un tiempo 0 hasta n, la cual produciría perdidas de carga adicionales al flujo de recarga.

La pérdida de carga extra por acumulación de partículas se estimó de acuerdo a lo siguiente:

$$\Delta hf = Hf_{filtro} + (7 \cdot 10^{-5}) \cdot (V \cdot t) \qquad [22]$$

Siendo Δhf las variaciones de las pérdidas de carga a través del tiempo y t intervalo de tiempo evaluado desde 0 hasta un tiempo n (hr), con un delta de avance de 1 minuto.

Reemplazando en las expresiones anteriores, las características del sistema de filtraje fueron las expuestas a continuación:

$$A_f = \frac{\pi \cdot 1.2^2}{4} = 1{,}7671\ m^2$$

$$V = \frac{\left(\frac{77}{2}\right)}{1{,}7671} = 20{,}3718\ km \cdot hr^{-1}$$

$$prof = \frac{20.3718 \cdot \frac{0{,}46}{1000}^3 \cdot 4}{17{,}6 \cdot 10^{-8}} = 0{,}0451\ m$$

$$Hf_{filtro} = \frac{0{,}0451 \cdot 5\ k}{9{,}8} \cdot (0{,}0057 \cdot 10^{-6}) x \frac{(1-0.4)^2}{0{,}4^3}\ x \left(\frac{6}{0{,}81\ x\ 0{,}00046}\right)^2$$
$$= 1{,}8978\ mca$$

$$\Delta hf = 1{,}8978 + (7 \cdot 10^{-5}) \cdot (20{,}3718 \cdot 1) = 1.8981\ mca$$

Así, se determinó el tiempo de operación del sistema de filtraje hasta un periodo igual a 1.476 minutos, en el cual se alcanza la perdida de carga máxima permitida según el criterio de diseño (4 mca). Por lo tanto, se estableció que el sistema de filtraje debería retro lavarse cada 24,6 horas para mantener su capacidad operativa.

De esta manera, el sistema de filtraje para mejorar la calidad del agua a infiltrar y no contaminar el acuífero a recargar, consideró 2 filtros de arena, de 1,77 m^2 de área y una profundidad de la cama de arena igual a 4,5 cm.

En consecuencia, mediante la construcción e implementación del desarenador y el sistema de filtraje, se **minimizará el riesgo de colmatación** del acuífero, manteniendo así la permeabilidad del medio poroso.

- Válvulas de alivio:

El sistema de recarga artificial consideró la inclusión de válvulas de alivio doble propósito cada 200 m, desde el sistema de filtraje hasta el punto de infiltración, con el objetivo de preservar sistema de conducción contra el exceso de presión, permitiendo la expulsión de aire del sistema, así como también, permitiendo el ingreso de aire en el caso de vaciado. Lo anterior deberá ser complementado con cuatro válvulas de emergencia (golpe de ariete) a lo largo de la aducción.

Si la presión en el aporte o demanda es superior la presión regulada aceptable, la válvula descargará la cantidad suficiente de agua para reducir la presión. Por otro lado, si la presión en el aporte/demanda disminuye por debajo de valor regulado, la válvula cierra, comportándose entonces como una válvula doble propósito reguladora de presión.

- Pozos de inyección:

La infiltración se realizará mediante 3 pozos profundos de 50 cm de radio, construidos a una distancia de 50 m, con tubería de PVC de 125 mm de diámetro.

Cada pozo deberá ser construido con un filtro anular de gravilla y cribas ubicadas a la profundidad del acuífero.

Adicionalmente, cada pozo tendrá su respectiva válvula de corte. Por otro lado, con el objetivo de mantener un control del flujo del sistema de recarga, antes del punto de separación del caudal para cada pozo, se deberá instalar un flujometro y una válvula de compuerta de 3".

La Figura 16 ilustra el esquema de los pozos de inyección que realizaran la infiltración para recargar el acuífero.

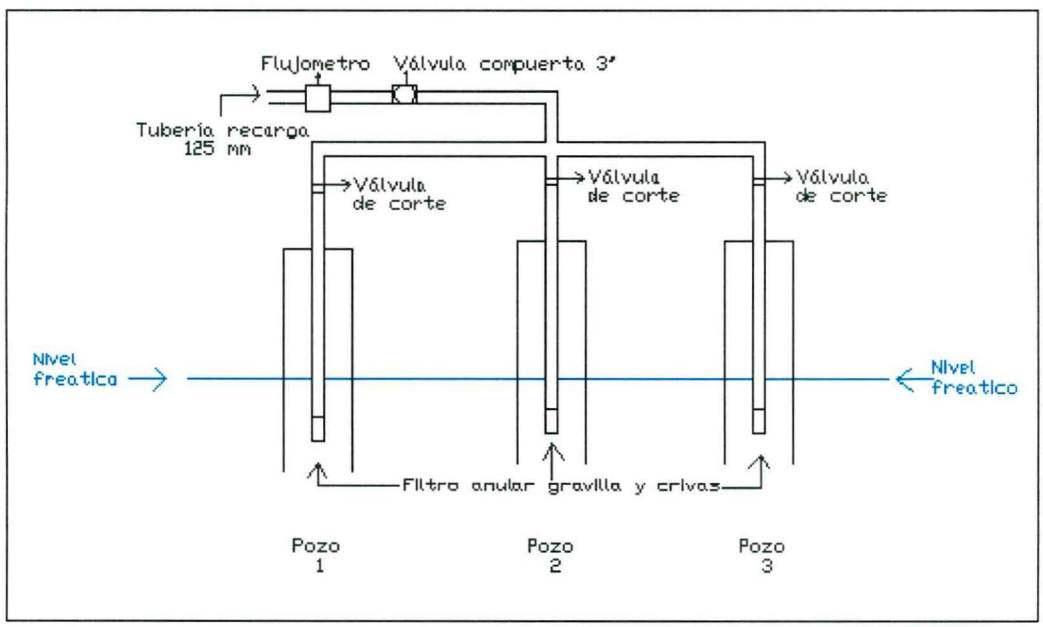

Figura 16: Esquema pozos de inyección para recarga artificial de acuífero.

- <u>Características del acuífero y recarga artificial:</u>

Estudios previos han caracterizado el acuífero de la cuenca del Yali, tales como: Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero del Yali, actualización modelación hidrogeológica del estero Yali", (GeoHidrologia Consultores Limitada-DGA, 2008); Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del estero Yali hasta sector el prado Región Metropolitana, (DGA, 2005); "Modelación hidrogeológica del acuífero del estero Yali, análisis de la demanda comprometida y en trámite",

(DICTUC S.A.-DGA, 2004); Análisis de solicitudes de derechos en trámite mediante modelo de simulación hidrogeológica estero Yali", (DICTUC S.A.-DGA, 2003); Revisión de antecedentes y del modelo numérico del acuífero del valle del estero Yali", (DICTUC S.A.-DGA, 2002); Evaluación de los recursos hídricos subterráneos cuenca estero Yali", (APR Ingeniería S.A.-Agrícola Súper Ltda., 2000).

De los estudios anteriores, se recopiló la información necesaria para caracterizar el acuífero de Estero Las Diucas, permitiendo realizar una modelación hidrogeológica del efecto del sistema de recarga artificial sobre el acuífero del Estero Las Diucas.

La modelación hidrogeológica del sistema de recarga artificial se realizó en el programa computacional Processing Modflow Versión 5.1.7, el cual permite la simulación de un sistema acuífero resolviendo la ecuación de flujo no permanente restringida a condiciones de borde especificadas por el usuario. El sistema de recarga de acuífero modelado se ha dividido para los efectos de la modelación matemática, en una grilla rectangular de 119 filas por 87 columnas y dos capas, correspondiendo las dimensiones de cada celda a 50 x 50 m.

La primera capa del sistema se modeló como un acuífero superficial, de baja conductividad hidráulica (0,07 m día^{-1}) y bajo almacenamiento (S= 5%).

La segunda capa se modeló como un acuífero semiconfinado del mismo almacenamiento, pero con mayor conductividad hidráulica (13 m día^{-1}).

- Resultados modelación sistema de recarga artificial:

Una vez ingresada la información necesaria al modelo para simular el efecto del sistema de recarga artificial al acuífero del Estero las Diucas, se obtuvo, en primera instancia, el área de simulación y luego los resultados correspondientes a infiltrar el agua del estero durante los meses de Mayo a Agosto, a una tasa constante de 20 L s^{-1}. La Figura 17 ilustra la región modelada para el sistema de recarga artificial de acuífero.

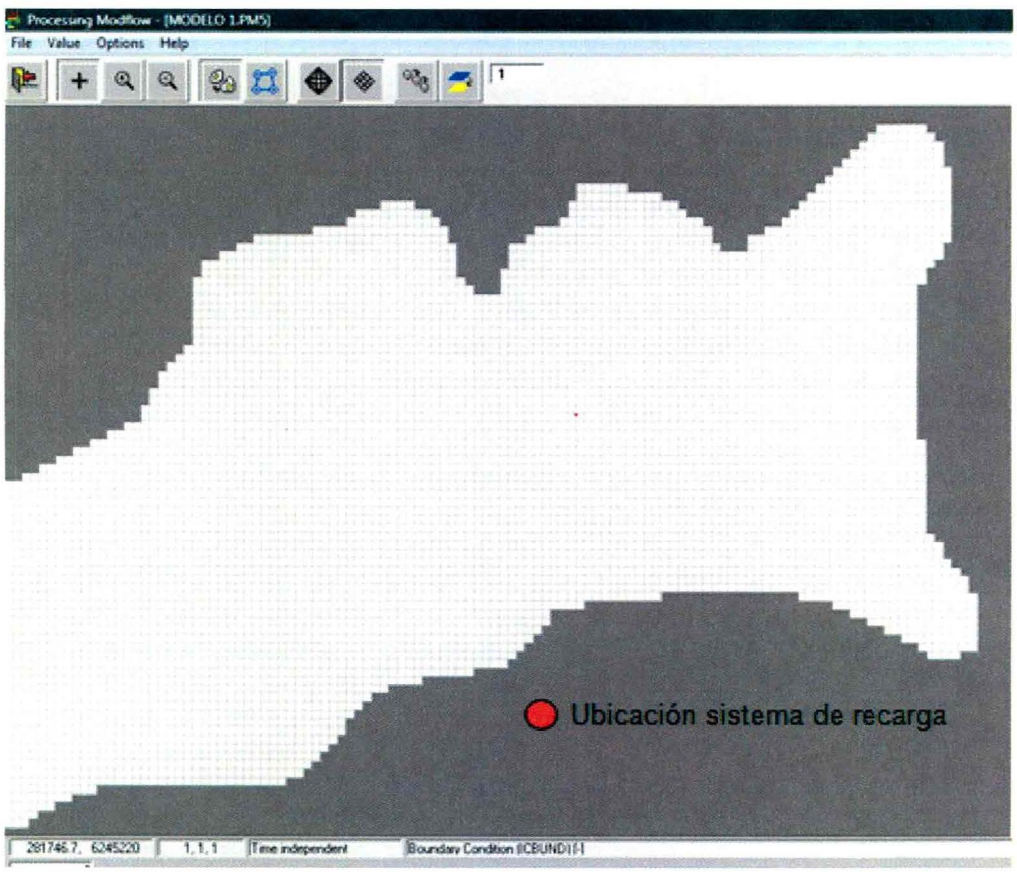

Figura 17: Área de modelación del sistema de recarga artificial de acuífero.

La Figura 18, ilustra la zona de captura del pozo existente en donde se ubica el sistema de recarga. El pozo cubre una importante extensión a su alrededor, justificando de esta manera la ubicación de los pozos de inyección en dicha zona. Los resultados de la modelación, indican que existiría la factibilidad de captar la totalidad del agua infiltrada.

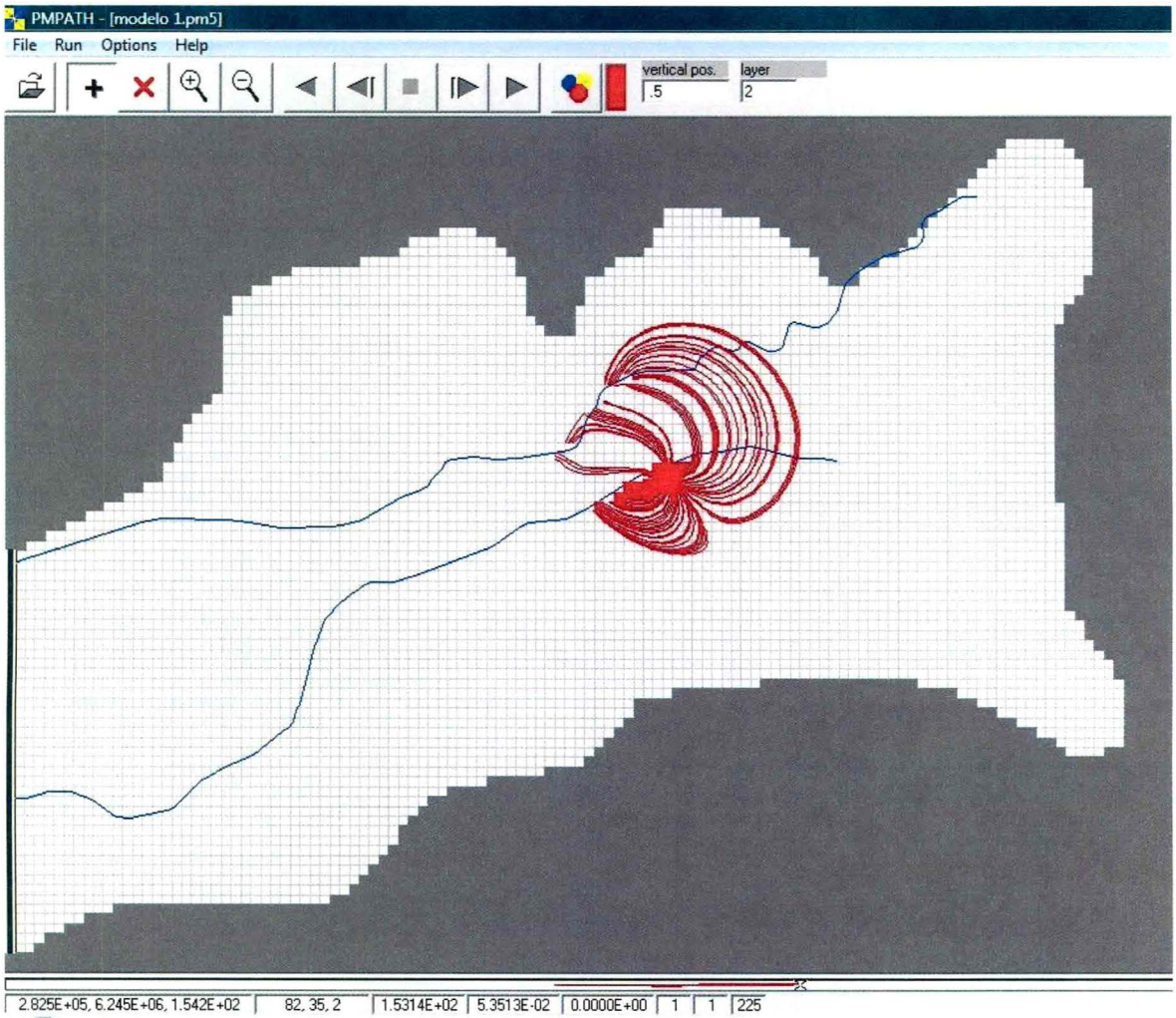

Figura 18: Zona de captura del pozo al que se le realizará la recarga artificial.

Al modelar la recarga por los pozos de infiltración, se determinó que la totalidad del caudal transportado era infiltrado hacia el acuífero, obtenido como resultado una recarga artificial exitosa. Para ello, se considerando que entre el punto de captación del sistema de aducción y el sistema de infiltración, existe una diferencia de cota igual a 44 m, a la cual, se descontó las pérdidas de carga ocurridas en el sistema, las cuales se estimaron en 5,56 mca para las ocurridas en las tuberías, 5,5 mca en el sistema de filtraje, y 0,55 mca en las válvulas y accesorios, obteniendo que el sistema de recarga ejercería una presión de 32,39 mca, logrando así desplazar las masas de agua subterránea del acuífero presente en el Fundo Rinconada de Longovilo.

Las Figuras 19 y 20 ilustran como toda la infiltración es capturada por el pozo existente en el Fundo Rinconada de Longovilo.

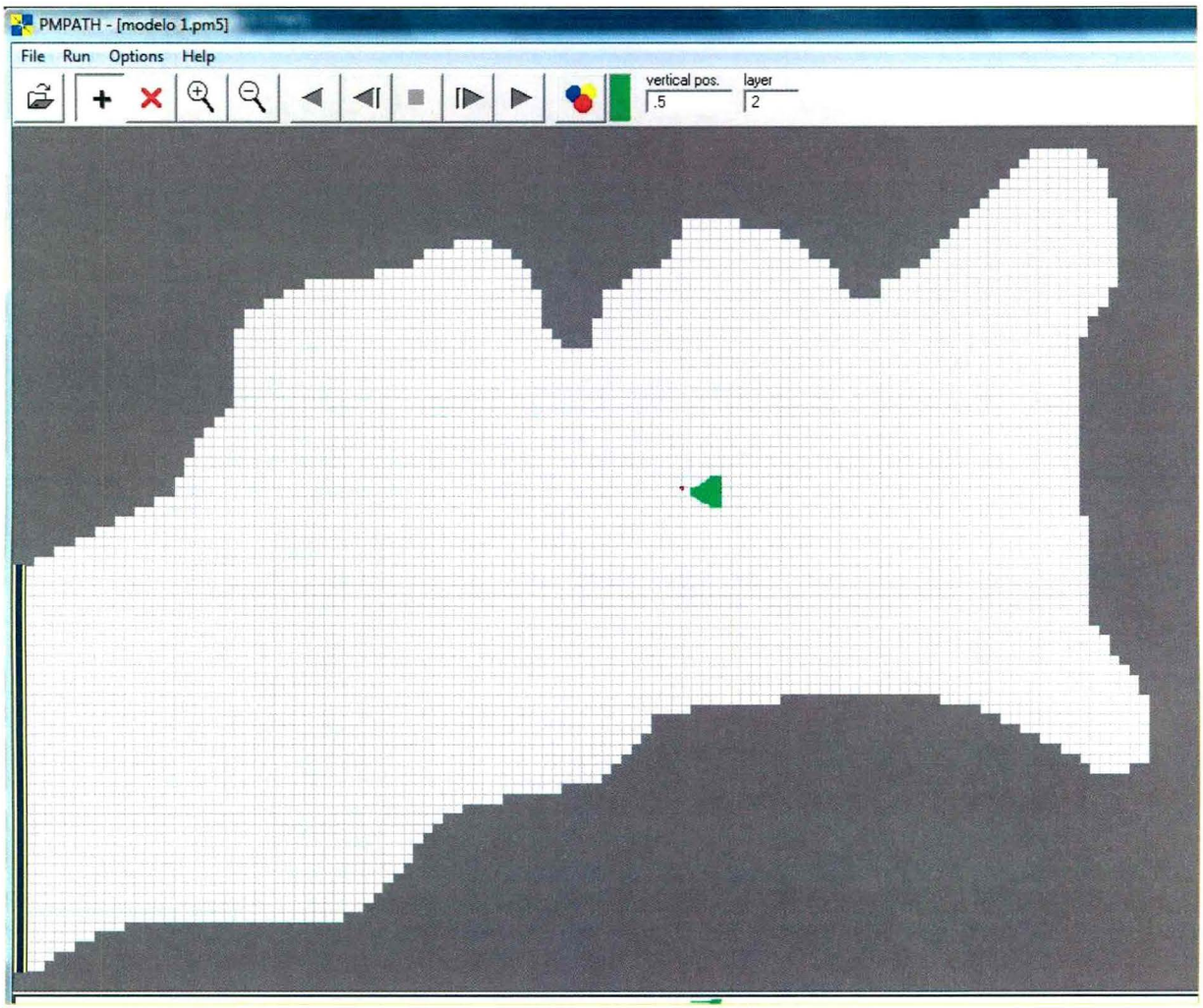

Figura 19: Recarga artificial de acuífero en Fundo Rinconada de Longovilo.

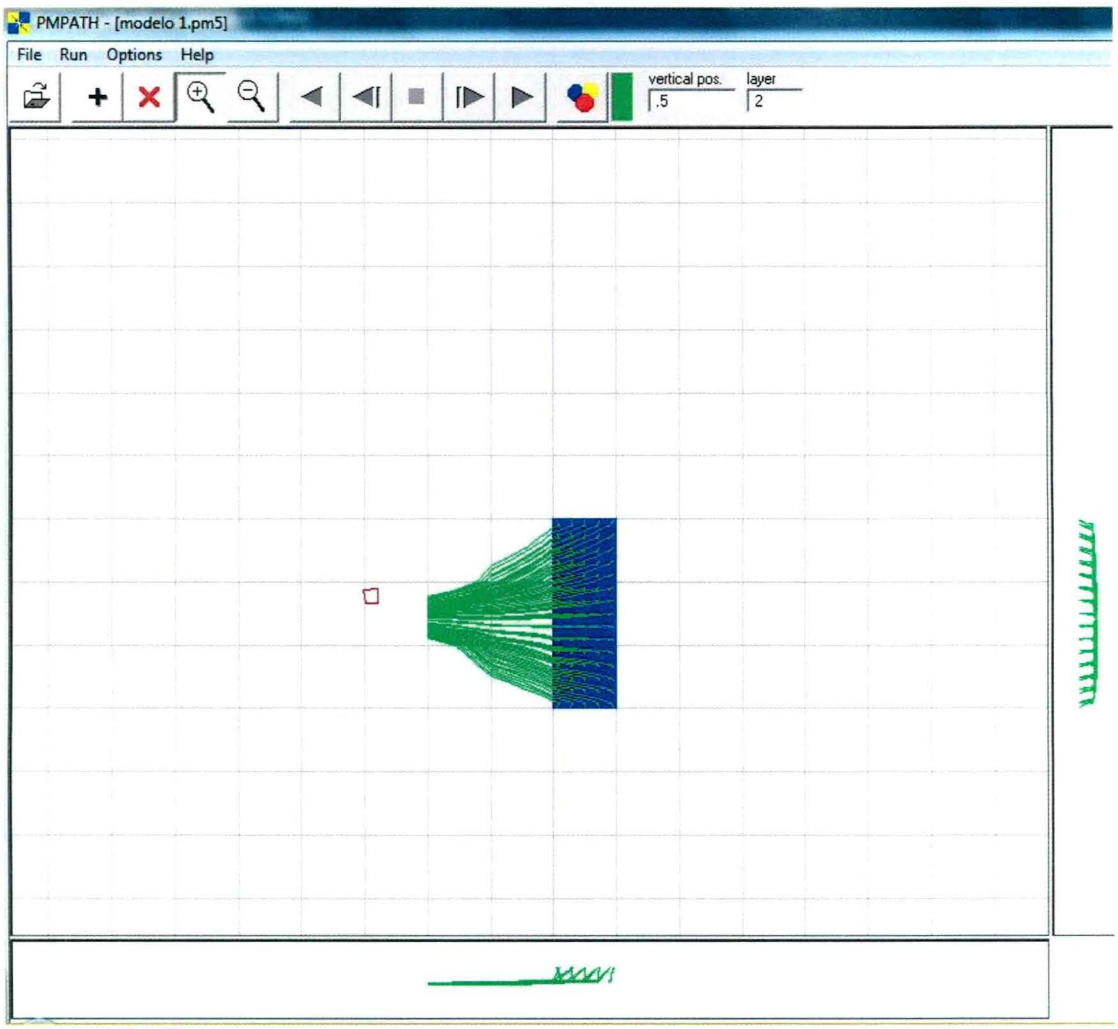

Figura 20: Detalle recarga artificial de acuífero en Fundo Rinconada de Longovilo.

En consecuencia, la modelación del sistema de recarga artificial de acuífero resultó ser altamente exitosa, infiltrando adecuadamente la totalidad del caudal conducido, transformándose entonces en una alternativa válida de cómo fuente de agua no convencional para riego agrícola, y asimismo, viable de desarrollar en la práctica y en el Fundo Rinconada de Longovilo.

2.5. Balance hídrico con uso de fuentes de agua no convencional.

De acuerdo con lo expuesto referente a balance hídrico del Fundo Rinconada de Longovilo, a través del uso de fuentes de agua disponibles tanto convencionales como no convencionales, se puede determinar qué:

Existirá un suministro constante de 10 L s^{-1} aportado por las aguas residuales provenientes de la planta de AGROSUPER. Los cuales serán diluidos mediante el uso de las fuentes de agua convencionales de las que dispone el predio.

La infiltración del acuífero con un caudal de 20 L s^{-1} será durante los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, siendo aprovechado durante los meses de máxima demanda. Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero, a través de la extracción del 90% del caudal infiltrado, considerando lo anterior como un criterio de seguridad de diseño.

La factibilidad de utilizar el caudal recargado radica en que la recarga artificial de acuífero está regulada según el Código de Aguas (Decreto con fuerza de Ley Nº 1.112), en los artículos 66, 67 y 68, los que hacen referencia a lo siguiente:

- **Artículo 66.** La Dirección General de Aguas podrá otorgar provisionalmente derechos de aprovechamiento en aquellas zonas que haya declarado de restricción. En dichas zonas, la citada Dirección limitará prudencialmente los nuevos derechos pudiendo incluso dejarlos sin efecto en caso de constatar perjuicios a los ya constituidos. Sin perjuicio de lo establecido en el inciso primero del artículo 67, y no siendo necesario que anteriormente se haya declarado zona de restricción, previa autorización de la Dirección General de Aguas, cualquier persona podrá ejecutar obras para la recarga artificial de acuíferos, teniendo por ello la preferencia para que se le constituya un derecho de aprovechamiento provisional sobre las aguas subterráneas derivadas de tales obras y mientras ellas se mantengan.

- **Artículo 67.** Los derechos de aprovechamiento otorgados de acuerdo al artículo anterior, se podrán transformar en definitivos una vez transcurridos cinco años de ejercicio efectivo en los términos concedidos, y siempre que los titulares de derechos ya constituidos no demuestren haber sufrido daños. Lo anterior no será aplicable en el caso del inciso segundo del artículo 66, situación en la cual subsistirán los derechos provisionales mientras persista la recarga artificial. La Dirección General de Aguas declarará la calidad de derechos definitivos a petición de los interesados y previa comprobación del cumplimiento de las condiciones establecidas en el inciso precedente.
- **Artículo 68.** La Dirección General de Aguas podrá exigir la instalación de sistemas de medida en las obras y requerir la información que se obtenga.

Así, según las normativas vigentes hasta la fecha una vez demostrada la factibilidad de la recarga artificial, es posible utilizar el caudal infiltrado en su totalidad. Esto determinará un balance positivo tanto para la disponibilidad hídrica del acuífero como para el Fundo, generando una externalidad positiva tanto para la zona como para el proyecto, ya que aumenta la seguridad de riego, las hectáreas de riego potencial y flexibiliza el sistema de producción, con los beneficios económicos y sociales que de este se desprenden.

Con respecto al balance del Tranque de acumulación existente en el Fundo Rinconada de Longovilo, este se encontrará a máxima capacidad desde Mayo a Septiembre del primer año de vigencia del proyecto, existiendo un balance positivo permanente que estará disponible para el riego.

Del análisis de los cuadros de balance hídrico (Cuadros 14 y 15), se concluye que los requerimientos hídricos del Fundo tanto en demanda por parte de cultivos, como los requerimientos de infiltración del acuífero y dilución del aporte de residuos industriales, son ampliamente cubiertos en gran parte debido al aporte que genera la implementación de los sistemas de aprovechamiento de fuentes no convencionales considerados en el presente proyecto.

Cuadro 14: Balance hídrico con uso de fuentes de agua no convencional periodo Mayo - Noviembre.

Requerimientos (m^3)	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Almendros	27.472	13.736	18.473	29.638	44.930	78.695	97.371
Nogales	11.077	5.538	7.448	11.950	18.116	31.730	39.260
Evap. Tranque	2,84	1,42	1,91	3,07	4,65	8,14	10,07
Dilución SP	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920
Recarga	51.840	51.840	51.840	51.840			
Total	116.312	97.036	103.683	119.350	88.970	136.353	162.561
Disponibilidad (m^3)							
Maitenes	0	0	0	0	0	0	66.096
Noria	0	0	0	0	0	0	47.952
Pivote	0	0	0	0	0	0	0
Estero	77.760	103.680	129.600	77.760	77760	51840	25920
Precipitaciones	148.349	165.074	211.615	67.630	53813	28.361	10.181
Agua SP	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920
Recarga	0	0	0	0	0		46.656
Total	252.029	294.674	367.135	171.310	157.493	106.121	222.725
Balance (m^3)	135.717	197.638	263.452	51.959	68.522	-30.232	60.164
Tranque(m^3)							
Disponible	135.717	197.638	263.452	51.959	68.522	-30.232	60.164
Requerimiento	0	0	0	0	0	30.232	0
Balance Tranque	175.000	175.000	175.000	175.000	175.000	144.768	144.768
Déficit (m^3)	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Caudal Requerido ($Lt \cdot s^{-1}$)	**0**	**0**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

Cuadro 15: Balance hídrico con uso de fuentes de agua no convencional periodo Diciembre-Junio próxima temporada.

Requerimientos (m^3)	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo'	Junio'
Almendros	156.782	151.165	133.775	99.536	42.426	27.472	13.736
Nogales	63.214	60.949	53.938	40.133	17.106	11.077	5.538
Evap. Tranque	16,22	15,64	13,84	10,30	4,39	2,84	1,42
Dilución SP	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920	259.20
Recarga						51.840	51.840
Total	245.931	238.050	213.647	165.599	85.457	116.312	97.036
Disponibilidad (m^3)							
Maitenes	66.096	66096	66096	66096	66096	0	0
Noria	47.952	47952	47952	47952	47952	0	0
Pivote	0	0	0	0	0	0	0
Estero	12960	0	0	0	0	77.760	103.680
Precipitaciones	4.363	727	1454	6545	29088	148.349	165.074
Agua SP	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920	25.920
Recarga	46.656	46.656	46.656	0	0	0	0
Total	203.947	187.351	188.078	146.513	169.056	252.029	294.674
Balance (m^3)	-41.984	-50.699	-25.568	-19.086	83.599	135.717	197.638
Tranque(m^3)							
Disponible	0	0	0	0	83.599	135.717	197.638
Requerimiento	41.984	50.699	25.568	19.086	0	0	0
Balance Tranque	102.784	52.085	26.516	7.430	91.029	226.746	175.000
Déficit (m^3)	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Caudal Requerido ($Lt \cdot s^{-1}$)	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

3 *Planos*

Se incluyen en CD de Anexo adjunto al presente proyecto los siguientes planos del proyecto:

- Plano de ubicación del proyecto.
- Plano de tranque de acumulación.
- Plano de obras general.
- Perfiles Longitudinales

4 *Análisis preliminar de expropiaciones y/o servidumbres*

El agricultor tendría que constituir una Servidumbre de Acueducto con el propósito de conducir dichas aguas hasta su predio. Siempre teniendo en consideración que los predios sirvientes deben ser indemnizados por el terreno que fuere ocupado y las mejoras afectadas por la construcción de dicho acueducto.

La servidumbre considerada en el presente proyecto, requiere la tramitación de 914 metros de cruce por terrenos pertenecientes a terceros.

En función de lo expuesto, se considerará entre las partes involucradas en el proceso de servidumbres, la realización de una declaración simple de servidumbre de paso y tránsito ante notario público, la cual deberá ser de la siguiente forma:

Declaración Simple De Servidumbre De Paso Y Tránsito

La siguiente lista de personas involucradas en el proyecto "*Diagnóstico de fuentes de agua no convencional en el regadío interregional*" en las comunas de Melipilla y San Pedro, propietarias de terrenos, autorizan la instalación de tuberías y sus características necesarias en su predio para la ejecución del proyecto de uso *Diagnóstico de fuentes de agua no convencional en el regadío interregional*.

Del mismo modo, se comprometen a la suscripción de la servidumbre de paso definitiva ante notario a favor de la empresa Ganadera Rinconada de Longovilo S.A que en definitiva construye el proyecto.

Adicionalmente, los que suscriben este documento declaran conocer las obligaciones que asumen al firmar el presente documento, las cuales se detallan a continuación:

1. Permitir el paso por su predio, tanto a personal de la empresa que construya el proyecto, como a las asociadas a este, para las labores de construcción del proyecto y para su posterior mantención.
2. No realizar labores de ningún tipo que dañen, interfieran o alteren el buen funcionamiento de la red hidráulica de tuberías.

Lista de personas:

Nº	Nombre	R.U.T	Firma
1			
n			

En consecuencia, mediante la declaración simple de servidumbre de paso y tránsito ante notario público, entre las partes involucradas en el proyecto, será posible la realización del las obras hidráulicas de conducción de aguas desde la empresa AGROSUPER hasta el Fundo Rinconada de Longovilo.

5 Presupuestos

A continuación en los Cuadros 16 y 17, se presentan los presupuestos de inversión para las diferentes obras hidráulicas contempladas en el presente proyecto. El diseño de las obras y su estructura se explicó con detalle en los puntos 2.1 y 2.2.

Cuadros 16: Presupuestos considerados en el sistema de impulsión de aguas tratadas.

Sistema impulsión de guas tratadas	Monto Inversión ($)
Sistema de Impulsión de Aguas Residuales	$ 17.395.499
Tranque de Almacenamiento	$ 1.680.000
Red Hidráulica desde Tranque - Sistema Riego	$ 2.515.341
Maquinaria	$ 1.000.000
Bomba 22 HP	$ 1.000.000
Total Inversiones	$ 23.590.840

Cuadro 17: Presupuestos considerados en el sistema de recarga artificial.

Sistema Recarga Artificial	Monto Inversion ($)
Sistema Monitoreo	$ 23.000.000
Red Hidráulica de Recarga	$ 15.528.197
Sistema de Filtraje	$ 1.500.000
Pozo Inyección	$ 20.000.000
Total Inversiones	$ 60.028.197

6 Calendario de inversiones de las obras

Para la ejecución y viabilidad del presente proyecto, se considera la construcción de diversas obras hidráulicas menores, tanto dentro como fuera del Fundo Rinconada de Longovilo. Las obras comenzarán durante el mes de Octubre de 2009, terminando según lo estipulado en los calendarios detallados a continuación.

6.1 Obras para utilización y aprovechamiento de aguas residuales tratadas.

Para el riego mediante el uso de aguas tratadas se planea la construcción de un sistema impulsor que consta de una toma ubicada en las piscinas de decantación de Aguas Residuales de AGROSUPER y que conducirá estas aguas a través de una tubería de PVC de 2.545 metros clase 6 de 110mm de diámetro hasta el nuevo tranque de acumulación, ubicado al interior del Fundo Rinconada de Longovilo. A continuación, en el Cuadro 18 presenta un calendario de ejecución de las obras detalladas.

Cuadro 18: Calendario de ejecución de obras para el sistema impulsor de aguas tratadas.

Sistema Aprovechamiento	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Sistema de Impulsión de Aguas Residuales	x	x	x	x	x	x	x	x
Tranque de Almacenamiento			x	x	x	x		
Red Hidráulica desde Tranque a Sistema Riego					x	x	x	x

S: Semana (1 a 8, considerando un tiempo total de 60 días)

6.2 Obras de recarga artificial de acuífero.

Las obras relacionadas a la recarga del acuífero contempla el diseño e instalación de una tubería de captación de aguas desde el Estero las Diucas, que será conducida hasta el punto de recarga, ubicado aproximadamente a 3.500 metros desde la toma del estero. Las especificaciones técnicas relacionadas a las obras hidráulicas fueron detalladas en el punto 2.2. El Cuadro 19 expone el calendario de ejecución de las obras detalladas.

Cuadro 19: Calendario de ejecución de obras para el sistema recarga artificial.

Sistema Recarga Artificial	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Sistema Monitoreo	x	x	x	x	x	x	x	x
Red Hidráulica de Recarga	x	x	x	x	x	x		
Sistema de Filtraje					x	x	x	x
Pozos Inyección						x	x	x

S: Semana (1 a 8, considerando un tiempo total de 60 días)

7 *Evaluación técnica del proyecto con otras FC*

Estudios previos, tales como "Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero del Yali, actualización modelación hidrogeológica del estero Yali", (GeoHidrologia Consultores Limitada-DGA, 2008). "Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del estero Yali hasta sector el prado Región Metropolitana", (DGA, 2005), "Modelación hidrogeológica del acuífero del estero Yali, análisis de la demanda comprometida y en trámite", (DICTUC S.A.-DGA, 2004)". "Análisis de solicitudes de derechos en trámite mediante modelo de simulación hidrogeológica estero Yali", (DICTUC S.A.-DGA, 2003). "Revisión de antecedentes y del modelo numérico del acuífero del valle del estero Yali", (DICTUC S.A.-DGA, 2002), y "Evaluación de los recursos hídricos subterráneos cuenca estero Yali", (APR Ingeniería S.A.-Agrícola Súper Ltda., 2000), han determinado que la sustentabilidad de los acuíferos presentes en la cuenca del Valle del Yali, está en continua disminución, determinando así, una escasez del recurso hídrico subterráneo.

En la zona agroecológica donde se ubica el Fundo Rinconada de Longovilo, no es posible acceder a nuevos derechos de aprovechamiento de agua, ya sean superficiales o subterráneos, por lo que técnicamente, el proyecto para que sea rentable debe considerar necesariamente la utilización de fuentes de agua no convencional para suplir el déficit hídrico y aumentar la seguridad de riego del fundo.

7.1 Estado de las aguas subterráneas Valle del Yali.

El Cuadro 20 expone la disponibilidad de aguas subterráneas en el valle del estero Yali al año 2005, en función de lo expuesto por el estudio "Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del estero Yali hasta sector el prado Región Metropolitana", (DGA, 2005), para cada uno de los sectores hidrogeológicos.

La disponibilidad se encuentra expresada en términos de la explotación neta previsible de los usos de agua subterránea, indicando además, el estado final de cada sector. Si el estado final es abierto, es un indicador de que después de avanzar hasta el caudal establecido, el sector podría satisfacer una demanda mayor, pero queda sujeta a una posterior evaluación.

En contraste, si el sector se encuentra cerrado, es un indicador de que el sector acuífero, luego de entregar toda su oferta, no podrá satisfacer futuras demandas.

Cuadro 20: Disponibilidad de aguas subterráneas de los sectores acuíferos del estero Yali, hasta sector El Prado.

Sector	Explotación previsible ($m^3 s^{-1}$)	Estado final
Yali Alto	548.4	Cerrado
San Vicente	265.07	Abierto
Las Diucas	211.48	Abierto
Yali Medio	164.88	Abierto
San Pedro	4.29	Abierto
Estero Loica	301.1	Abierto

Sin embargo, los resultados del estudio "Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero del Yali, actualización modelación hidrogeológica del estero Yali", (GeoHidrologia Consultores Limitada-DGA, 2008), expusieron que el estado final de todos los acuíferos debía ser cerrado, sobre la base de los criterios incluidos en la declaración de área de restricción de la resolución 425 de 2007 de la Dirección General de Aguas.

El Cuadro 21 expone límites máximos por sector hasta donde es posible avanzar en la constitución de derechos de agua subterránea.

Cuadro 21: Valores de cierre para el acuífero del estero Yali.

Sector	Oferta sustentable ($Lt \cdot s^{-1}$)	Estado final
Yali Alto	548.40	Cerrado
San Vicente	147.80	Cerrado
Yali Medio	181.80	Cerrado
San Pedro	20.72	Cerrado
Las Diucas	382.36	Cerrado

Por lo tanto, expuestos los resultados de los estudios ya mencionados, es posible concluir que **no es posible avanzar en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas**, en carácter de definitivos, sin producir perjuicios a derechos de terceros en los sectores hidrogeológicos de la cuenca del estero Yali.

7.2 Áreas de restricción.

Según el art. 65, inciso 1°, del Código de Aguas, serán áreas de restricción aquellos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en los que exista el riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.

La declaración de área de restricción la efectuará la Dirección General de Aguas a petición de cualquier usuario del respectivo sector, sobre la base de los antecedentes históricos de explotación de sus obras de captación, que demuestren la conveniencia de restringir el acceso al sector.

En función de lo expuesto en el punto 4 del presente estudio, y los informes técnicos Nº 22, 128, 270, y 421, de la Dirección General de Aguas, se han declarado hasta la fecha, las siguientes áreas de restricción en la cuenca del estero Yali y en sus alrededores:

- Subsectores hidrogeológicos de aprovechamiento común del estero Alhue, Puangue Alto, Puangue Medio, Cholqui, Popeta, Melipilla y La Higuera.
- Sector hidrogeológico de aprovechamiento común Yali Alto, Yali Bajo El Prado.

La Figura 21 ilustra las áreas de restricción en la cuenca del estero Yali y sus alrededores.

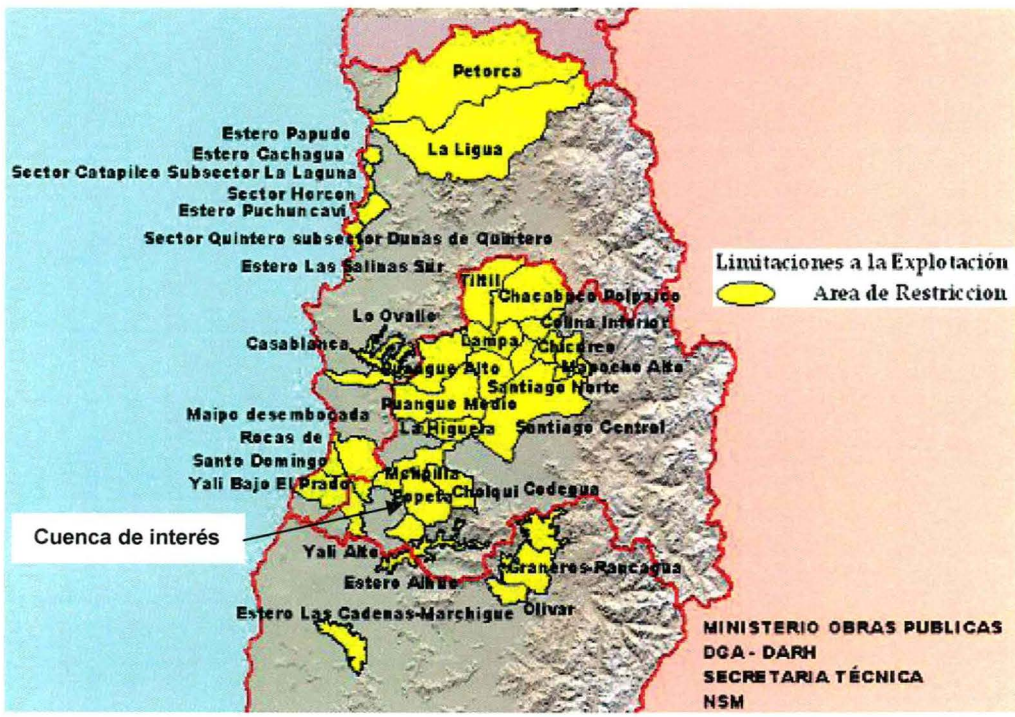

Figura 21: Áreas de restricción en la cuenca del estero Yali y sus alrededores.

Se destaca que los sectores hidrogeológicos San Vicente, Las Diucas, Yali Medio, y Estero Loica, aún no han sido declaradas como áreas de restricción. Sin embargo, como ya se expuso, los respectivos acuíferos se encontrarían cerrados, impidiendo así avanzar en el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en dichos sectores de la cuenca del estero Yali, por lo que igualmente deberían ser consideradas como zonas de restricción.

Por otro lado, en cuanto a optar a constituir derechos de aprovechamiento de agua superficial, debe destacarse que el Fundo Rinconada de Longovilo ya posee sus respectivos derechos sobre el Estero las Diucas, por lo que no es posible que la Dirección General de Aguas otorgue nuevos derechos sobre el cauce sin afectar la hidrología superficial y subterránea del sector agroecológico.

Finalmente, una opción válida para aumentar la seguridad de riego y ha de nuevo riego, es arrendar o comprar derechos de aprovechamiento continuo a terceros, lo cual, en contraste al uso de fuentes de agua no convencional, posee más desventajas que efectos positivos sobre la rentabilidad del proyecto.

7.3. Justificación del uso de fuentes de agua no convencionales en Valle del Yali.

Una gestión óptima del agua disponible, ya sea superficial o subterránea, tomando en cuenta su calidad y cantidad, es una necesidad urgente debido al aumento de la demanda por este recurso, su limitado acceso, variaciones en los niveles de los acuíferos y salinización de suelos, producto de una inadecuada administración del recurso hídrico.

Así, una gestión eficiente del agua es un punto crítico a considerar para su adecuada operación y administración, especialmente en zonas áridas y semiáridas, como en la cuenca del estero Yali, que presenta grandes conflictos de disponibilidad del recurso hídrico y sustentabilidad de los acuíferos.

Es por eso, que se requiere progresar en la aplicación de sistemas integrales de gestión del recurso hídrico, y así como también en el desarrollo de metodologías adecuadas que aumenten la disponibilidad de agua para riego a nivel predial para el progreso y evolución del sector agropecuario de Chile. El

presente estudio abarcó la formulación y evaluación de un proyecto que utilice fuentes de agua no convencional que permitieran aumentar la seguridad de riego en un sistema agrícola declarado como zona de restricción.

8 *Evaluación económica*

A continuación se presenta la evaluación económica para la implementación de obras hidráulicas que permitirán aumentar la seguridad de riego para las plantaciones actualmente existentes en el Predio, considerando lo expuesto en Cuadro 22.

Cuadro 22: Características iniciales para la evaluación económica.

Especie	Variedad	Superficie (ha)	Año Plantación
Nogales	Chandler	31,2	2006
Almendros	Non Pareil, Marcona y Solano	44	2006
Almendros		40	2007
Almendros		6	2008
Total		121,2	
Sin seguridad de riego		30,87	

- Determinación de Inversiones:

Para efectos del flujo y determinación de la rentabilidad del presente proyecto, se consideraron tanto las inversiones requeridas para la implementación de las obras propuestas para el uso de fuentes de agua no convencional, como las inversiones realizadas en plantaciones previamente existentes en el predio, consistente en 121,2 ha de frutales. La justificación para esto radica en que la implementación de las obras de riego que utilicen agua no convencional, pretenden beneficiar directamente a la producción de dichas plantaciones ya existentes en el Fundo Rinconada de Longovilo.

- Determinación de Ingresos:

Para efectos de evaluación, se calcularon los ingresos operacionales del flujo en base a los datos entregados por el Fundo en cuanto a las curvas de producción, datos que permitieron determinar la producción máxima estimada. Los ingresos, se calcularon relacionando la producción estimada total, con el precio de venta estimado de $990 por kilo (Precio referencial a Junio 2009; IPC: 0.3%; UTM: $36.792). Se consideró el mismo precio para la comercialización de almendras y nueces.

En cuanto las producciones de almendras y nueces estimadas por el Fundo Rinconada de Longovilo, se consideró lo expuesto en la Figura 22.

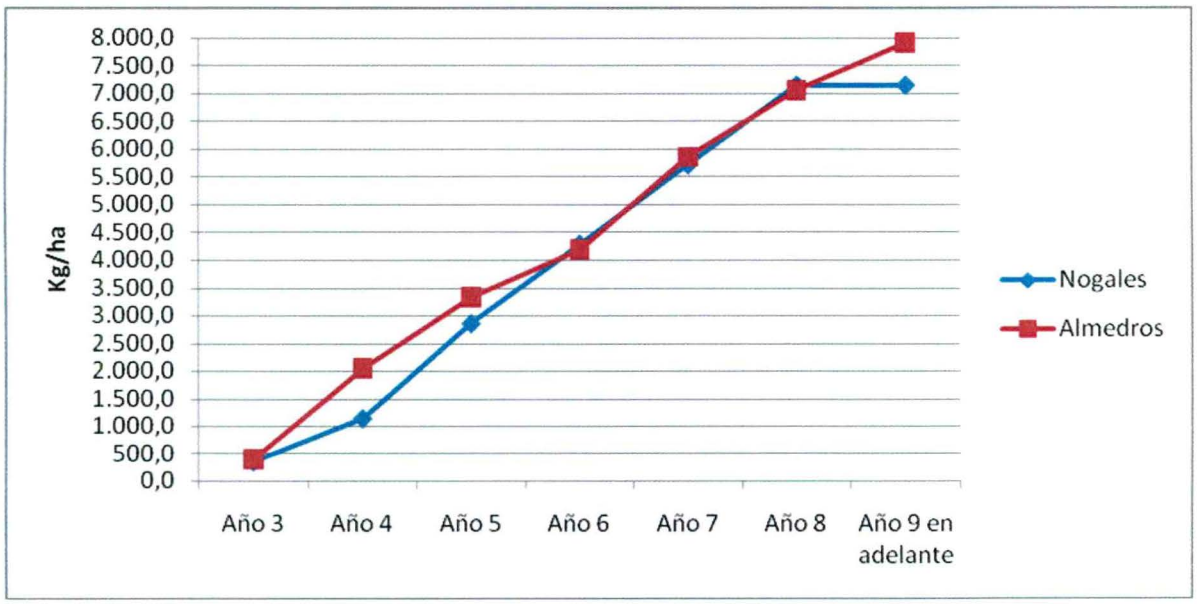

Figura 22: Curvas de producción estimadas para nogales y almendros en el Fundo Rinconada de Longovilo.

- Determinación de Costos:

Los costos operacionales de los cultivos se calcularon en base a los datos entregados por el Fundo Rinconada de Longovilo (Cuadro 23). Tanto para el caso de los costos operacionales relacionados al cultivo, como así también para el manejo, reposición y mantención de las obras hidráulicas asociadas al presente proyecto.

Cuadro 23: Estructura de costos operacionales Fundo Rinconada de Longovilo.

Costos Operacionales		
Suelo		mantención anual ($/ha)
	Preparación suelo	50.000
	Nivelación/emparejar	200.000
	Herbicida	90.000
	Cerco con vecinos	150.000
	Total Suelo/ha	490.000
Árbol	Poste	1.250.000
	Tutor	950.000
	Unión	500.000
	Cinta de amarre	250.000
	Pintura tronco	350.000
	Protección conejos	350.000
	Total Arbol/ha	3.650.000
Energía Riego	Bomba	1.200.000
	Tablero	500.000
	Programador	300.000
	Válvulas	679.536
	Fertilización	2.500.000
	Total Energía Riego/ha	5.179.536
	Total Costos Operacionales/ ha	9.319.536

Precios referenciales a Junio 2009; IPC: 0.3%; UTM: $36.792

- Horizonte de Evaluación:

La evaluación del proyecto se realizó a un horizonte de 30 años y a una tasa de descuento del 10% anual, considerando capital propio para las todas las inversiones presentes y futuras, sin compromiso de financiamiento externo.

- Indicadores de Rentabilidad:

Los indicadores de rentabilidad presentados en el presente proyecto son la TIR y el VAN, a modo de determinar la rentabilidad esperada del proyecto en cuanto a la tasa de retorno de las inversiones y el valor actual de los flujos futuros del proyecto. La evaluación considera la rentabilidad que suponen para los cultivos, el aumento de capacidad de riego producto de la instalación de sistemas de aprovechamiento de fuentes de aguas de riego no convencionales, siendo estas el aprovechamiento de Aguas Residuales Tratadas provenientes de las

plantas del Holding AGROSUPER, (Planta Sector 14 Los Culenes) aledañas al Predio en estudio y la extracción de aguas subterráneas provenientes del Acuífero el cual será previamente infiltrado de forma artificial con las aguas de origen fluvial, provenientes del Estero las Diucas que se ubica en el mismo predio.

El escenario actual supone un déficit hídrico máximo acumulado de 30 L s^{-1} durante los meses de Enero a Marzo. Lo que para efectos económicos se traduciría en un equivalente a 30,87 ha menos de riego. Los escenarios de sensibilización de rentabilidad se modelaron tomando esta variable para determinar la disminución de rentabilidad que implicaría este déficit hídrico en la producción de los cultivos en cuestión. Los resultados del análisis económico se basaron en la obtención de los indicadores de rentabilidad del proyecto, siendo estos la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN), a una tasa de descuento del 10% anual, como los principales indicadores utilizados. Al evaluar la rentabilidad global del Fundo Rinconada de Longovilo, se obtuvo que las plantaciones de nogales y almendros, a un horizonte de 30 años de evaluación, entregarías valores positivos de rentabilidad, puesto que el VAN y TIR fueron, de $3.686.121.198 y 46,62% respectivamente.

Al analizar la **rentabilidad que se genera únicamente con las 30 ha y el uso de fuentes de agua no convencional** en el Fundo Rinconada de Longovilo, se determinó que el proyecto generaría condiciones rentables sustentando la factibilidad de éste. Los **indicadores de rentabilidad calculados** fueron los siguientes:

TIR= 11,87%

VAN= $ 938.866.018

Finalmente, en los Cuadro 24 a 27, exponen el flujo de caja proyectado a 30 años que justifica los resultados obtenidos en la evaluación económica, así como también los ingresos, costos y utilidades del presente proyecto.

Cuadro 24: Flujo de caja años 0 a 9.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Inversiones										
Inversiones Nogales 2006	82.249.394									
Inversión Almendros 2006	89.894.933									
Inversión Almendros 2007		96.522.667								
Inversión Almendros 2008			11.778.400							
Inversión Obras RILES				23.590.840						
Inversión Obras Infiltración				60.028.197						
Maquinas y Equipos		15.000.000	112.800.000							
Subtototal Inversiones	***$ 172.144.328***	***$ 111.522.667***	***$ 124.578.400***	***$ 83.619.037***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***
Ingresos Operacionales										
Ingresos Nogales	0	0	13.371.429	42.788.571	106.971.429	160.457.143	213.942.857	267.428.571	267.428.571	267.428.571
Ingresos Almendros 2006	0	0	20.900.000	108.680.000	175.560.000	221.540.000	309.320.000	372.020.000	418.000.000	418.000.000
Ingresos Almendros 2007	0	0	0	19.000.000	98.800.000	159.600.000	201.400.000	281.200.000	338.200.000	380.000.000
Ingresos Almendros 2008	0	0	0	0	2.850.000	14.820.000	23.940.000	30.210.000	42.180.000	50.730.000
Subtotal Ingresos Operacionales	***$ 0***	***$ 0***	***$ 34.271.429***	***$ 170.468.571***	***$ 384.181.429***	***$ 556.417.143***	***$ 748.602.857***	***$ 950.858.571***	***$ 1.065.808.571***	***$ 1.116.158.571***
Costos Operacionales										
Costos Op. Nogales	0	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000
Costos Op. Almendros 2006	0	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000
Costos Op. Almendros 2007	0	0	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000
Costos Op. Almendros 2008	0	0	0	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000
Costos Op Fuentes de agua no convencionales	0	0	0	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000
Subtotal Costos Operacionales	***$ 0***	***$ 67.680.000***	***$ 103.680.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***
Flujo Antes de Impuesto	***-172.144.328***	***-179.202.667***	***-193.986.971***	***-24.630.466***	***272.701.429***	***444.937.143***	***637.122.857***	***839.378.571***	***954.328.571***	***1.004.678.571***
Flujo Acumulado	***-172.144.328***	***-351.346.994***	***-545.333.966***	***-569.964.431***	***-297.263.003***	***147.674.140***	***784.796.997***	***1.624.175.569***	***2.578.504.140***	***3.583.182.712***

Cuadro 25: Flujo de caja años 10 a 19.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Inversiones										
Inversiones Nogales 2006										
Inversión Almendros 2006										
Inversión Almendros 2007										
Inversión Almendros 2008										
Inversión Obras RILES										
Inversión Obras Infiltración										
Maquinas y Equipos										
Subtototal Inversiones	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***
Ingresos Operacionales										
Ingresos Nogales	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571
Ingresos Almendros 2006	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000
Ingresos Almendros 2007	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000
Ingresos Almendros 2008	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000
Subtotal Ingresos Operacionales	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***
Costos Operacionales										
Costos Op. Nogales	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000
Costos Op. Almendros 2006	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000
Costos Op. Almendros 2007	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000
Costos Op. Almendros 2008	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000
Costos Op Fuentes de agua no convencionales	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000
Subtotal Costos Operacionales	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***
Flujo Antes de Impuesto	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***
Flujo Acumulado	***4.594.131.283***	***5.605.079.854***	***6.616.028.426***	***7.626.976.997***	***8.637.925.569***	***9.648.874.140***	***10.659.822.712***	***11.670.771.283***	***12.681.719.854***	***13.692.668.426***

Cuadro 26: Flujo de caja años 20 a 29.

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Inversiones										
Inversiones Nogales 2006										
Inversión Almendros 2006										
Inversión Almendros 2007										
Inversión Almendros 2008										
Inversión Obras RILES										
Inversión Obras Infiltración										
Maquinas y Equipos										
Subtototal Inversiones	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***	***$ 0***
Ingresos Operacionales										
Ingresos Nogales	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571	267.428.571
Ingresos Almendros 2006	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000	418.000.000
Ingresos Almendros 2007	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000	380.000.000
Ingresos Almendros 2008	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000	57.000.000
Subtotal Ingresos Operacionales	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***	***$ 1.122.428.571***
Costos Operacionales										
Costos Op. Nogales	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000	28.080.000
Costos Op. Almendros 2006	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000	39.600.000
Costos Op. Almendros 2007	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000	36.000.000
Costos Op. Almendros 2008	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000	5.400.000
Costos Op Fuentes de agua no convencionales	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000	2.400.000
Subtotal Costos Operacionales	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***	***$ 111.480.000***
Flujo Antes de Impuesto	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***	***1.010.948.571***
Flujo Acumulado	***14.703.616.997***	***15.714.565.569***	***16.725.514.140***	***17.736.462.712***	***18.747.411.283***	***19.758.359.854***	***20.769.308.426***	***21.780.256.997***	***22.791.205.569***	***23.802.154.140***

Cuadro 27: Flujo de caja año 30.

	2036
Inversiones	
Inversiones Nogales 2006	
Inversión Almendros 2006	
Inversión Almendros 2007	
Inversión Almendros 2008	
Inversión Obras RILES	
Inversión Obras Infiltración	
Maquinas y Equipos	
Subtotal Inversiones	***$ 0***
Ingresos Operacionales	
Ingresos Nogales	267.428.571
Ingresos Almendros 2006	418.000.000
Ingresos Almendros 2007	380.000.000
Ingresos Almendros 2008	57.000.000
Subtotal Ingresos Operacionales	***$ 1.122.428.571***
Costos Operacionales	
Costos Op. Nogales	28.080.000
Costos Op. Almendros 2006	39.600.000
Costos Op. Almendros 2007	36.000.000
Costos Op. Almendros 2008	5.400.000
Costos Op Fuentes de agua no convencionales	2.400.000
Subtotal Costos Operacionales	***$ 111.480.000***
Flujo Antes de Impuesto	***1.010.948.571***
Flujo Acumulado	***24.813.102.712***

9 *Evaluación ambiental*

9.1 Identificación de impactos ambientales

Para la identificación de los impactos ambientales que se generarían por el proyecto, se utilizó la metodología de Matriz de Leopold. Esta metodología, permite identificar los distintos impactos que se generan en cada una de las etapas del proyecto sobre los diferentes receptores ambientales.

A partir de esta matriz, se pude definir la pertinencia de ingreso del proyecto al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en forma de una Declaración de Impacto Ambiental.

Los criterios que se consideran, están contenidos en el artículo 11 de la ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, así como los criterios señalados en el Título II del Reglamento del SEIA.

En el Cuadro 28 se presenta la matriz de Leopold, en la cual se indica la magnitud y persistencia de los impactos (ej. Magnitud/Persistencia). Para el caso de la magnitud, se consideran tres niveles (1 = bajo, 2 = medio, 3= alto), los cuales pueden ser impactos positivos (+) o negativos (-). La persistencia de estos impactos es considerada en tres niveles: (1) cuando la persistencia del impacto se limita al tiempo de la actividad, (2) cuando la persistencia del impacto es mayor al tiempo de la actividad y menor al tiempo total de ejecución del proyecto, (3) cuando la persistencia del impacto es mayor al tiempo de ejecución del proyecto.

Cuadro 28: Matriz de Leopold para proyecto Yali.

			Receptor ambiental donde afecta el impacto (Magnitud / Persistencia)						
Proyecto	Actividad	Aspecto	Aire	Agua	Suelo	Flora	Fauna	Paisaje	Comunidad
Riego con RILes de agroindustria	Planificación y definición del área del proyecto	Expropiación							
		Servidumbres							
	Instalación de faenas	Despeje de área de instalación	-2 / 1			-2 / 3	-2 / 1	-2 / 2	-1 / 1
		Preparación de terreno	-2 / 1		-2 / 1	-1 / 1	-2 / 1	-2 / 1	-1 / 1
		Construcción de oficinas y bodega	-2 / 1		-1 / 1	-1 / 1	-1 / 1	-2 / 2	-1 / 1
		Uso de áreas de servicio (comedores y baños)	-1 / 2					-1 / 2	-1 / 1
		Uso de maquinaria menor	-2 / 1		-1 / 1		-2 / 1	-1 / 1	-1 / 1
		Manejo de residuos generales	-1 / 1				-1 / 1	-1 / 2	-1 / 1
	Administración de personal	Trasporte de personal	-1 / 2				-1 / 2		+2 / 2
		Uso de equipos de seguridad						-1 / 2	+1 / 2
	Construcción de aducción	Roce y despeje de la faja	-2 / 1		-2 / 1	-2 / 3	-2 / 2	-2 / 3	-1 / 1
		Trafico de maquinaria	-2 / 1		-2 / 2		-2 / 1	-2 / 1	-1 / 1
		Trazado y excavaciones	-2 / 1		-2 / 2	-1 / 1	-2 / 1	-2 / 2	-1 / 1
		Cruce de matriz bajo camino rural	-2 / 1		-2 / 1	-1 / 1	-1 / 1	-2 / 2	-1 / 1
		Instalación de equipos, tuberías y componentes.	-2 / 1		-1 / 1		-1 / 1	-2 / 1	-1 / 1
		Relleno de excavaciones	-2 / 1		-2 / 1		-2 / 1	-2 / 1	-1 / 1
	Construcción de obra de acumulación y sistema de tratamiento	Roce y despeje de terreno	-2 / 1		-2 / 1	-2 / 3	-2 / 3	-2 / 3	-1 / 1
		Trafico de maquinaria	-2 / 1		-2 / 1		-2 / 1	-2 / 1	-1 / 1
		Trazado y excavaciones	-2 / 1		-2 / 2	-1 / 1	-2 / 1	-2 / 2	-1 / 1
		Instalación de estructuras, tuberías y componentes.	-2 / 1		-1 / 1		-1 / 1	-2 / 1	-1 / 1
		Relleno de excavaciones	-2 / 1		-2 / 1		-2 / 1	-2 / 2	-1 / 1
	Construcción de sistema de riego	Roce y despeje de terreno	-2 / 1		-2 / 1	-2 / 3	-2 / 2	-2 / 3	-1 / 1
		Trafico de maquinaria	-2 / 1		-2 / 1		-2 / 1	-2 / 1	-1 / 1
		Trazado y excavaciones	-2 / 1		-2 / 2	-1 / 1	-2 / 1	-2 / 2	-1 / 1
		Instalación de equipos, tuberías y componentes.	-2 / 1		-1 / 1		-1 / 1	-2 / 1	-1 / 1
		Relleno de excavaciones	-2 / 1		-2 / 1		-2 / 1	-2 / 2	-1 / 1
	Operación del sistema	Riego con mezcla de agua	-1 / 3	-1 / 3	+2 / 3	+1 / 3	-1 / 3	+1 / 3	-1 / 3
		Mantención y operación del sistema	-1 / 2	-1 / 3	+1 / 3	+1 / 3	+1 / 3	+1 / 3	-1 / 3
Recarga de Acuífero	Planificación y definición del área del proyecto	Expropiación							
		Servidumbres							
	Instalación de faenas	Despeje de área de instalación	-2 / 1			-2 / 3	-2 / 1	-2 / 2	
		Preparación de terreno	-2 / 1		-2 / 1	-1 / 1	-2 / 1	-2 / 1	
		Uso de áreas de servicio (comedores y baños)	-1 / 2					-1 / 2	
		Uso de maquinaria menor	-2 / 1		-1 / 1		-2 / 1	-1 / 1	
		Manejo de residuos generales	-1 / 1				-1 / 1	-1 / 2	
	Administración de personal	Trasporte de personal	-1 / 2				-1 / 2		+2 / 2
		Uso de equipos de seguridad						-1 / 2	+1 / 2
	Construcción de aducción	Roce y despeje de la faja	-2 / 1		-2 / 1	-2 / 1	-2 / 1	-2 / 1	
		Trafico de maquinaria	-2 / 1		-2 / 1		-2 / 1	-2 / 1	-1 / 1
		Trazado y escavaciones	-2 / 1		-2 / 2	-1 / 1	-2 / 1	-2 / 2	
		Instalación de tuberías y componentes.	-2 / 1		-1 / 1		-1 / 1	-2 / 1	
		Relleno de excavaciones	-2 / 1		-2 / 1		-2 / 1	-2 / 2	
	Construcción de decantador	Roce y despeje de terreno	-2 / 1		-2 / 1	-2 / 1	-2 / 1	-2 / 1	
		Trafico de maquinaria	-2 / 1		-2 / 1		-2 / 1	-2 / 1	-1 / 1
		Trazado y excavaciones	-2 / 1		-2 / 2	-1 / 1	-2 / 1	-2 / 2	
		Construcción de estructuras y componentes.	-2 / 1		-1 / 1		-1 / 1	-2 / 1	
		Relleno de excavaciones	-2 / 1		-2 / 1		-2 / 1	-2 / 2	
	Construcción de pozos de recarga y monitoreo	Roce y despeje de terreno	-2 / 1		-2 / 1	-2 / 1	-2 / 1	-2 / 1	
		Trafico de maquinaria	-2 / 1		-2 / 1		-2 / 1	-2 / 1	-1 / 1
		Trazado y perforaciones	-2 / 1	-1 / 1	-2 / 2	-1 / 1	-2 / 1	-2 / 2	
		Instalación de equipos de filtrado, tuberías y componentes.	-1 / 1		-1 / 1		-1 / 1	-2 / 1	
	Operación del sistema	Recarga de agua al acuífero		+1 / 2	+1 / 2				
		Mantención y operación del sistema		+1 / 2	+1 / 2				

De la Matriz de Leopold, en la cual se consideran los criterios indicados por la Ley y el reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en los cuales se establece la pertinencia de realizar un Estudio de Impacto Ambiental, se puede concluir que los Proyectos " Riego agrícola con RILes de agroindustria" y

"Recarga de acuífero" en la Comuna de San Pedro, no generarán o presentarán ninguno de los efectos, características o circunstancias contempladas en el Artículo 11 de la Ley N°19.300 ni en los artículos procedentes del Reglamento del SEIA que amerite la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental. Por lo tanto, resulta plenamente procedente el ingreso al SEIA a través de una Declaración de Impacto Ambiental, bajo la forma de una declaración jurada, en la cual se expresa que los proyectos cumplen con la legislación ambiental vigente.

9.2 Plan de Prevención de Riesgos

El SAG estipula en su Guía "Condiciones Básicas para la Aplicación de RILes de Agroindustrias en Riego" las medidas de mitigación y prevención de riesgos ante posibles problemas que se pudieran presentar durante el funcionamiento de los sistemas.

Los riesgos ambientales son determinados principalmente por amenazas, definidas como eventos de posible ocurrencia con capacidad de afectar negativamente al medio ambiente y consecuentemente la imagen del proyecto.

El plan de prevención de riesgos tiene como objetivo evitar el desarrollo de estas amenazas, para lo cual se deben adoptar ciertos procedimientos en las distintas etapas del proceso.

Para el caso de riego con RILes de agroindustria, se presenta el siguiente plan de prevención de riesgos:

Prevención de riesgos en tranque de acumulación:

- La prevención en el manejo de tranque de acumulación, evitará poner en riesgos la estructura del tranque y el correcto funcionamiento de este, tanto en la acumulación como en la entrega de agua.
- Diseñar la capacidad del tranque considerando un margen de seguridad de acumulación, ante eventuales períodos lluviosos que puedan saturar la capacidad de acumulación del embalse.

- Delimitar la entrada al tranque para evitar el ingreso de animales y/o personas no autorizadas. Con esto, se evitará originar posibles daños a la estructura y condición del tranque y problemas de toxicidad con los animales que pudiesen consumir el agua acumulada.
- En el diseño del tranque, considerar el revestimiento de las paredes y fondo del embalse para evitar filtraciones e infiltraciones.
- Realizar una limpieza interior del tranque (de carácter periódico) para eliminar sedimentos y vegetación que disminuyen la capacidad de operación de este.
- Revisión periódica de las paredes del tranque para evitar deslizamientos de tierra, lo que podría afectar la estabilidad de este.
- Realizar una mantención periódica del exterior del tranque, eliminando las malezas que crecen alrededor, para evitar la disminución de agua acumulada por la absorción por plantas no deseadas.
- Mantener y revisar periódicamente las estructuras de entrada y salida de agua (compuertas, marcos partidores, etc.) para garantizar un adecuado revestimiento.
- Monitoreo permanente de la situación de capacidad del tranque en situaciones de lluvias torrentosas, con el objetivo de evitar su posible colapso.

Prevención de riesgos en la conducción del agua hacia el predio:

- Realizar chequeos periódicos de los sistemas de conducción para detectar posibles fugas de agua en las tuberías.

Prevención de riesgos en el área de riego:

- Cercar los límites del predio para evitar la entrada de animales, los cuales podrían verse afectados por problemas de toxicidad o afectar las estructuras de riego del área.

- Crear una cortina de viento con árboles para disminuir la disipación de malos olores, ante la eventualidad de disponer de RILes con estas características.
- Los movimientos de maquinaria dentro del predio deben realizarse con precaución para evitar daños en los sistemas de riego.
- Para sistemas de riego tecnificados, realizar un chequeo continuo de cada uno de sus componentes: bombas impulsoras, filtros, cañerías de distribución, emisores, etc. Con el objetivo de asegurar la disposición adecuada de agua en la superficie de riego.
- Debido a la carga de partículas que porta el agua de RILes, el sistema de filtrado y las terminaciones del sistema de tuberías deben ser revisados y limpiados 1 vez a la semana, con el objetivo de evitar taponamientos y acumulación de sedimentos en el sistema.
- Reemplazar, en riego tecnificado, aquellos elementos que se encuentran dañados o no realizan su función correctamente.
- Capacitar continuamente al personal encargado de la operación del sistema de riego.
- Observación sintomatológica del suelo y de los cultivos para detectar posibles contaminaciones por elementos que contienen las aguas de RILes.

Para el caso de recarga de acuífero, el plan de prevención riesgos estaría constituido por los siguientes puntos:

Prevención de riesgos en la captación del agua desde el estero:

- Realizar chequeos periódicos de la obra de captación para detectar posible obturación al flujo de agua hacia la piscina de decantación.
- Realizar limpieza periódica de la piscina de decantación, para evitar el paso de material particulado y basura, al sistema de conducción.

Prevención de riesgos en la conducción del agua hacia pozos de recarga:

- Realizar chequeos periódicos de los sistemas de conducción para detectar posibles fugas de agua en la tubería.
- Para el sistema de filtraje, realizar revisiones periódicas del funcionamiento del sistema, para evitar la obturación de los pozos de recarga.

9.3 Plan de Contingencias

Un Plan de Contingencia es un plan esencialmente organizativo que proporciona las respuestas necesarias ante situaciones de emergencia. Los objetivos de éste son establecer las líneas básicas de actuación en el caso de un episodio de emergencia ambiental y coordinar los medios técnicos y humanos para contrarrestarlo.

A continuación se presentan una serie de situaciones de emergencia que pueden ocurrir en el área de operación del sistema de riego con RILes, recomendándose ciertas medidas a adoptar para atenuar o evitar los efectos negativos que pueden sobrevenir.

Ocurrencia de temblores de gran magnitud o terremotos:

- Suspensión del riego para evitar derrames de volúmenes excesivos ante posibles daños en el sistema.
- Chequeo de las estructuras de riego (tranque, canales, compuertas, tuberías, etc.) para verificar sus estados.
- Reparación o reemplazo de estructuras dañadas.
- Ante inevitables derrames de agua, dar aviso inmediato a las autoridades pertinentes.

Lluvias torrentosas:

- Evaluar condición del tranque de acumulación.
- Si es necesario, evacuar el agua del tranque para evitar un rebalse con los consiguientes daños a la estructura de este. Antes de proceder se debe dar aviso a la autoridad pertinente.
- Poner en funcionamiento los sistemas de recirculación de agua, para disminuir la escorrentía superficial, evitando el arrastre de materiales y agua.

Muerte de plantas:

- Reposición de plantas.
- Realizar análisis de calidad de agua en la succión del sistema de aducción y posterior a la dilución de las aguas (NCh1.333, DBO5 y nitrógeno total).
- Análisis de posibles causas de muerte.
- Adopción de medidas para evitar nuevas muertes, en base a la causa detectada.

Discontinuidad en el aporte de agua residual desde el proceso agroindustrial:

- Reformulación de la programación de riego ante nuevo escenario de menor disponibilidad de agua.
- Adoptar medidas de máximo aprovechamiento de agua.
- Si estas existen, utilizar otras fuentes de agua, con el objetivo de evitar la muerte de plantas por déficit hídrico.

Detección de pérdida de suelo superficial:

- Revisión de programación de riego para evitar caudales erosivos. Esto puede conllevar a la disminución de caudales y tiempos de riego.

Fugas o roturas en tranque de acumulación:

- Elaborar un Plan de Emergencia ante situaciones que afecten la integridad del tranque (lluvias torrentosas, terremotos, etc.).
- Detección de la ubicación de la fuga y su causa.
- Reparación del daño.
- Adoptar medidas de mejoramiento de mantención del tranque.

Rotura de tuberías:

- Suspensión del riego.
- Detección de la causa que originó la rotura, para evitar nuevos daños.
- Cambio o reparación de la(s) tubería(s) dañada(s).

Taponamiento de emisores en riego tecnificado:

- Revisión y limpieza de filtros.
- Limpieza del sistema.
- Aplicación de sustancias limpiantes.
- Aumento de frecuencia de lavado del sistema.
- Producto del retrolavado del sistema de filtros, se generará un sedimento concentrado en las partículas conducidas por los RILes, las cuales deberán ser capturadas, desecadas, y dispuestas en lugares autorizados.

Detección de elementos contaminantes en monitoreo de agua subterránea:

- Suspensión del riego.
- Análisis de monitoreo de aguas superficiales para detectar fuente de contaminación.
- Revisión y/o reformulación de los procesos de abatimiento.
- Revisión de los programas de riego para evitar exceso de caudales que originan infiltración hacia napas.

Formación de costras superficiales en el suelo:

- Detectar la causa que origina el encostramiento.
- Eliminación de costras mediante rastraje superficial.

Diseminación de olores:

- Verificar el estado de la cortina de viento.
- Aumentar la densidad de la cortina si no está cumpliendo su función.
- Utilización de desodorizantes ambientales de gran tamaño en casos extremos.

A continuación se presentan una serie de situaciones de emergencia que pueden ocurrir en el área de operación del sistema de recarga de acuífero, recomendándose ciertas medidas a adoptar para atenuar o evitar los efectos negativos que pueden sobrevenir.

Ocurrencia de temblores de gran magnitud o terremotos:

- Suspensión de la recarga para evitar derrames de volúmenes excesivos de agua, sobre terrenos aledaños a la matriz de conducción, ante posibles daños en el sistema.

- Chequeo de las estructuras de recarga (decantador, compuertas, tuberías, filtros y válvulas) para verificar sus estados.
- Reparación o reemplazo de estructuras dañadas.

Lluvias torrentosas:

- Evaluar condición de operación del decantador.
- Si es necesario, realizar el cierre de compuertas al inicio del decantador, para evitar el ingreso excesivo de material particulado y basura.

Rotura de tuberías:

- Suspensión de la recarga.
- Detección de la causa que originó la rotura, para evitar nuevos daños.
- Cambio o reparación de la(s) tubería(s) dañada(s).

Taponamiento de pozos de recarga:

- Revisión y limpieza de filtros.
- Limpieza del sistema.
- Aumento de frecuencia de lavado del sistema de filtrado.
- Lavado de pozos para extracción de particulado.

9.4 Estimación de los costos a nivel de prefactibilidad de estas medidas

Para el cumplimiento de las medidas de prevención y mantención de los proyectos de riego con RILes y recarga de acuífero, se consideran los siguientes ítems y costos (Cuadro 29):

Cuadro 29: Costos anuales a nivel de prefactibilidad de medidas de prevención y mantención.

Ítem	Cantidad	Unid.	Costo Unid.	Costo Total
Personal de mantención y prevención (permanente)	1	pers.	$ 3.000.000	$ 3.000.000
Personal de mantención y reparación (eventual)	28	J/H	$ 7.000	$ 196.000
Arriendo de maquinaria para movimiento de tierra	40	horas	$ 14.000	$ 560.000
Análisis de calidad de agua (DBO5 y nitrógeno total)	12	unid.	$ 22.505	$ 270.060
Análisis de calidad de agua (NCh 1.333)	12	unid.	$ 132.636	$ 1.591.632
Análisis de suelo (N, P, K disponibles)	6	unid.	$ 15.881	$ 95.286
			Total	**$ 5.712.978**

10 Evaluación legal

En relación a este caso se distinguen dos situaciones. Por un lado se observa a la empresa AGRICOLA SUPER, que en atención a sus derechos sobre el derrame podrá celebrar todo tipo de actos jurídicos con el agricultor y por otra parte se encuentra el beneficiario AGRICOLA Y GANADERIA RINCONADA que en virtud de la recarga de acuífero podrá realizar labores de captación de agua llevándola a los pozos respectivos. Ahora, ambas situaciones anteriormente descritas van a confluir en que las aguas de distinta fuente se tratarán a través de procesos tecnológicos, para lo cual se requerirá del subsidio del Estado con el fin de llevar a cabo las labores de regadío que pretende el beneficiario.

En atención a lo anterior, se hace necesario el análisis por separado:

A) Bajo el supuesto de que la empresa AGRICOLA SUPER tiene el Derecho de Aprovechamiento de Aguas sobre el derrame, en virtud del Artículo 19 N ° 24 de la Constitución Política, artículos 6 y 43 del Código de Aguas, va poder usar, gozar y disponer libremente de este derecho siempre y cuando no exista una ley que lo limite. Dicho esto, se hace necesario plantearse en las siguientes situaciones:

1. En caso de que la Empresa con el agricultor celebren un contrato de compraventa que diga relación a los volúmenes de agua sobre los que versa el derrame pueden suscitarse los siguientes escenarios:

- El agricultor va poder postular al financiamiento del Estado, en virtud de lo que se establece en la ley 18.450 sobre riego agrícola. Para lo cual tendrá que cumplir con la NCh 1.333.

- La Empresa va tener que cumplir con lo pactado, siempre teniendo como base lo requerido en el Decreto Supremo N º 90, viéndose expuesta si no cumple a multas decretadas por la autoridad respectiva y acciones entabladas en su contra por el agricultor, que buscan la resolución o el cumplimiento del contrato más indemnización de perjuicios, según lo establecen las normas civiles.

- Se tendría que pactar en el contrato que los volúmenes de agua se deben entregar por temporada de riego, en razón a los meses en que se necesita y usa de este bien para fines agrícolas.

- A su vez, la Empresa podría resguardarse del posible incumplimiento oportuno del agricultor de pagar el precio, estableciendo una cláusula penal en su favor, que es una institución que regula nuestra legislación civil y que consiste en una evaluación anticipada y convencional de los perjuicios en caso que llegue a pagarse el precio con retardo, manera por la cual la indemnización quedaría fijada con anticipación y sin necesidad de entrar a probar los perjuicios en juicio posterior.(Artículo 1535 y sgtes C.Civil).

- En cuanto a los plazos de duración del contrato suscrito entre la AGRICOLA SUPER y el agricultor, es importante dejar constancia que la duración de dicho contrato será aquella que fijen en las Bases de los Concursos para optar al fondo respectivo. En otras palabras, en materia de plazos debe existir necesariamente una concordancia entre el contrato a suscribir y la resolución de la adjudicación por parte de la Comisión de Riego, en conformidad a la Ley 18.450. Dichos plazos tienen un mínimo fijado por la ley, el cual depende del tipo de negocio jurídico que se suscriba.

- El agricultor tendría que constituir una Servidumbre de Acueducto con el propósito de conducir dichas aguas hasta su predio. Siempre teniendo en consideración que los predios sirvientes deben ser indemnizados por el terreno que fuere ocupado y las mejoras afectadas por la construcción de dicho acueducto. Agregando a lo planteado las indemnizaciones correspondientes en caso de perjuicios ocasionados por construcción del acueducto, filtraciones, derrames y desbordes que puedan imputarse a defectos de construcción o mal manejo del mismo. (Libro I título VII nº1 c) de las servidumbres, artículo 76 y sgtes. Código de Aguas).

- En relación a lo anterior, si el acueducto llegase a producir algún daño a los predios colindantes, por ejemplo, contamina sus campos impidiendo el normal cultivo, se vería expuesto el agricultor como titular del acueducto a ser demandado de indemnizaciones de perjuicios por concepto de responsabilidad extracontractual. (Artículo 2314 y sgtes del Código Civil.)

- La Empresa podría resguardarse en caso de que el precio se pague en cuotas, constituyendo una hipoteca en su favor sobre el predio que es titular el agricultor, esto dependerá del grado de confianza que exista entre las partes involucradas y la situación económica del beneficiario,

siempre tomando en consideración la cantidad de hectáreas del agricultor, ya que de esta manera le sería conveniente desde el punto de vista comercial la constitución de dicha institución jurídica.

- La agroindustria con el agricultor podrían pactar que no se comercien los volúmenes de agua con terceros.

- También podrían considerarse otras cauciones a favor de la Empresa, por ejemplo una boleta bancaria de garantía, póliza de seguro o pagaré notarial.

- Desde el punto de vista tributario, la empresa en caso que venda volúmenes de aguas del respectivo derrame no solo al beneficiario si no también a terceros, podría estar afecta al pago del impuesto al valor agregado, ya que estaría adoptando la calidad de vendedor debido a su habitualidad en las ventas de dichos volúmenes de agua, según la calificación que haga el Servicio de Impuestos internos. (Artículo 2 nº 3 del Decreto Ley nº 825, artículos 2 letra I) y 4 del Decreto supremo nº 55.)

- Hay que señalar que el arrendamiento de volúmenes de agua no tiene cabida en esta relación contractual, ya que en este tipo de contrato la regla es que pueden arrendarse todas cosas corporales e incorporales; muebles e inmuebles salvo las cosas consumibles debido a que el arrendatario tiene la obligación de restituir la cosa arrendada al término del contrato, pero si se consumió con su uso, no podrá restituirla. Artículo 1916 Código Civil. Otra cosa distinta sería que el agricultor le arrendara maquinaria a la agroindustria con el fin de transportar el agua. Ahora no hay que perder de vista que bajo los supuestos dados, sí procede el arrendamiento del Derecho de Aprovechamiento de Aguas, ya que es un

derecho real, y el titular puede disponer de él libremente, pudiendo venderse, arrendarse, etc.

2. En atención al Principio de la autonomía de la voluntad que prima en nuestro derecho privado, se le faculta a las partes la posibilidad de celebrar cualquier tipo de contrato, determinando ellas mismas su contenido, efectos y duración, siempre teniendo en consideración el respeto a la ley, el orden público y las buenas costumbres. Dicho esto, la fuente con el agricultor podrían celebrar un contrato innominado donde podrían tomar en consideración los siguientes aspectos:

- En caso de que se estipule pagar el precio en cuotas por los volúmenes de agua, se podría pactar una cláusula de aceleración, bajo el supuesto de que si no se cumple con una de las cuotas de varias en el tiempo oportuno, se haga exigible la totalidad de la obligación.

- Se podría pactar la cláusula penal.

- Se podría pactar una cláusula que modifique la responsabilidad contractual de AGRICOLA SUPER. En virtud de la cual, la culpa de la agroindustria se vería atenuada o aumentada en caso que no cumpla el contrato, ya que no entregó la calidad de agua exigida por el Decreto Supremo N °90, pero siempre teniendo en consideración de verse expuesta a las multas que irrogue dicho incumplimiento frente a la autoridad respectiva.

3. También en este sentido se podrían transferir los derechos de aguas sobre el derrame pertenecientes a la agroindustria mediante el contrato de cesión de derechos. En el caso que planteamos se presentan las siguientes particularidades que paso a describir:

- El agricultor en este escenario a su vez también podría comercializar sus derechos con terceros, a menos que se pactara lo contrario.

- Se podría pactar una cláusula penal a favor de ambas partes, así se evitaría ir a la justicia a probar los perjuicios ya que estos se presumen de derecho. Libro IV título XI, artículos 1535 y sgtes. Código Civil.

4. Otro aspecto a considerar es que se puede pactar la canalización de las respectivas aguas del respectivo derrame, pudiendo producirse los siguientes escenarios:

- El agricultor va poder postular al subsidio del Estado, para obras de riego y drenaje según la Ley 18.450.

- La agroindustria tendrá que cumplir con la normativa sobre calidad de agua, contemplada en el Decreto Supremo 90. Viéndose expuesta a las respectivas multas cursadas por la autoridad respectiva.

- A su vez el agricultor tendrá que cumplir con la NCh 1.333.

- El agricultor deberá constituir una servidumbre de acueducto con el fin de conducir dichas aguas hacia su predio. Siempre tomando en consideración la responsabilidad extracontractual en caso que se produzcan daños a terceros. (Artículo 2314 y sgtes. Código Civil.)

5. Otro aspecto que tiene relevancia, se refiere al concepto de la Responsabilidad social Empresarial de la agroindustria. Por ello, ésta no sólo tendría que buscar la comercialización de los volúmenes de las aguas por de derrame, sino que también entregar a la comunidad o en este caso a los agricultores del sector ciertas concesiones y aportes con el fin de que estos puedan cubrir de mejor manera sus necesidades de

regadío, ya que el subsidio que entrega el Estado es limitado. Esto lleva consigo un efecto multiplicador para la comunidad del sector, dónde todos se beneficiarían. Por ejemplo en caso de la agrícola SUPER, ésta mejoraría su posición e identificación con la comunidad, mientras la AGRICOLA Y GANADERIA RINCONADA podría alcanzar un mayor desarrollo, generar más puesto de trabajo, otorgar mejores condiciones a sus trabajadores, etc.

6. En relación a lo que debe entenderse por servidumbre de acueducto, la podemos definir como el derecho que tiene el dueño de un predio o de un establecimiento industrial o que tiene un pueblo de conducir aguas que le son necesarias a través de un predio ajeno. Se encuentra dentro de la clasificación de servidumbres legales de utilidad privada y se deben demandar judicialmente a través del procedimiento sumario, es decir no operan de pleno derecho, requiriendo de una sentencia judicial. (Artículos 841, 861 Código Civil, 76 Código de Aguas, 680 Código de Procedimiento Civil). Los requisitos para su constitución son los siguientes:

- Necesidad de conducir aguas.

- El dueño del predio dominante debe tener un derecho de disponer de las aguas que se pretendan conducir, para eso debe probar que puede disponer del agua que desea conducir.

- El interesado debe el pago de las indemnizaciones que corresponden al dueño del predio sirviente y las expensas que requiera su constitución, como el precio de todo el terreno que fuere ocupado.

B) En relación a la Recarga del acuífero. El beneficiario buscará que esta agua que es captada y transmitida a pozos según los procesos técnicos que ello implica sea posteriormente diluida con el agua que fue adquirida de la agroindustria a fin de cultivar los almendros del agricultor, para lo cual se necesitará postular a los subsidios que entrega el Estado en razón de llegar a implementar la tecnología suficiente para llevar a cabo dicho proyecto. Ahora bien, podemos señalar que este tema no está totalmente desarrollado en nuestra legislación, lo cual acarrea una serie de vacios legales, pero no obstante aquello si es posible encontrar ciertas normas que regulen de alguna manera esta materia. La recarga del acuífero la podemos enmarcar dentro del Libro Primero, título VI de las Aguas Subterráneas, Artículos 59 y stges del Código de Aguas. Ello lleva a que el agricultor pueda constituir Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas, pero este debe tener presente que estando en zonas de restricción la Dirección General de Aguas podrá otorgarle provisionalmente dichos derechos y dejarlos sin efecto en caso de constatar perjuicios a los derechos ya constituidos. Ahora, dichos derechos podrán transformarse en definitivos si se han ejercido efectivamente durante cinco años y sus titulares demuestren no haber sufrido daños, para lo cual debe concurrir el titular ante la Dirección General de Aguas y hacer la petición correspondiente previa comprobación de dichos requisitos. Además, no hay que perder de vista que la autoridad podrá fiscalizar al agricultor en razón a la recarga del acuífero, para lo cual le podrá exigir instalar ciertos sistemas de medición debido a que se está en zonas de baja disponibilidad de agua.

11 *Análisis del impacto agroproductivo, legal y económico*

El fundo de la Agrícola Longovilo cuenta con una superficie plantada actual de 121,2 ha destinadas a la producción de frutos secos (Almendros y Nogales).

Las fuentes de suministro de agua actuales no son suficientes para suplir la demanda requerida por dichos cultivos frutales en los próximos años de plena producción, generándose un déficit acumulado máximo de 30 L s^{-1} en los meses de mayor demanda hídrica del cultivo, (Enero-Marzo). Lo que se traducirá en una disminución de la producción potencial de dichos cultivos.

El presente proyecto pretende entre otras cosas, el mejorar la productividad a través del aumento del insumo deficitario, que en este caso particular sería el agua. La obtención de esta, será a través del aprovechamiento de las aguas residuales de la empresa AGROSUPER, las cuales serán diluidas para alcanzar niveles permitidos para su utilización como agua de riego, acorde a la norma Chilena 1.333of78.

Además se pretende complementar este déficit, mediante la recarga artificial del Acuífero, que en una primera etapa beneficiará al Fundo Rinconada de Longovilo, sin embargo, una vez aplicada una metodología de estudio respecto de los beneficios de este proceso, se podrían beneficiar predios aledaños que posean pozos de extracción que hagan uso de las aguas almacenadas en dicho acuífero.

Este proyecto, presenta un impacto positivo desde el punto de vista económico, puesto que la rentabilidad obtenida justifica plenamente la construcción de las obras detalladas, y que permite alcanzar los máximos niveles de producción.

En conclusión, el proyecto en cuestión, genera una serie de externalidades positivas para el sector, ya que permite un aumento de la seguridad de riego al infiltrar el acuífero con aguas que de otra forma escurrirían superficialmente.

El presente proyecto cuenta con un nivel altamente innovador en cuanto a la obtención de fuentes de agua no convencionales, lo cual genera un precedente para futuros proyectos tanto a nivel regional como nacional que permitirán aumentar la seguridad y disponibilidad de riego en zonas que actualmente presentan restricciones en cuanto a disponibilidad hídrica superficial y subterránea.