

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERIA HIDRAULICA
XI CONGRESO CHILENO

RIEGO POR TUBERIAS
APLICACION A HUERTOS FAMILIARES DE PUERTO NATALES

LUIS ARRAU DEL CANTO (1)

SILVIA SANCHEZ FARIAS (2)

RESUMEN

Se presenta el caso, único en el país, de un proyecto de riego para 271 parcelas en Puerto Natales, basado completamente en una conducción y distribución del agua por medio de tuberías enterradas, que se justificaron básicamente por los bajos caudales de diseño para una larga longitud de conducción, y por los altos costos de mantención de un canal, ante las agrestes condiciones climáticas. La idea es, además, proporcionar junto con el agua la presión necesaria para desarrollar riego altamente tecnificado de cultivos rentables. La incertidumbre hidrológica, que se describe con cierto detalle, obliga a diseñar un esquema de cultivos que se adapte a las variables disponibilidades de agua, año a año. Los costos globales del sistema superan los US\$ 7.000 por hectárea, pero la evaluación económica resulta positiva debido principalmente a la ubicación de los mercados, que actualmente se abastecen pagando altos costos de transporte. Se presenta el proyecto de las obras civiles y del esquema de riego propuesto, así como los criterios utilizados para acondicionarlo a las especiales características de la zona.

(1) *Ingeniero Civil U.Ch., Jefe Departamento de Proyectos de la Dirección de Riego, M.O.P. Profesor de la Cátedra de Ingeniería de Riego en la U. de Chile.*

(2) *Ingeniero Civil U.Ch., Departamento de Proyectos de la Dirección de Riego, Ministerio de Obras Públicas.*

1. INTRODUCCION

En los últimos tiempos ha tomado gran auge en diversos proyectos de riego, el diseño de la conducción del agua por medio de tuberías. La idea básica es proporcionar, además del agua, la presión que requieren los diferentes elementos de riego tales como goteros, aspersores, cintas, etc., aprovechando la energía gravitacional y ahorrando importantes costos de operación.

Los costos asociados a estos diseños son por lo general elevados, razón por la cual los proyectos no han resultado viables económicamente, hasta unos años atrás, en nuestro país. Sin embargo, el gran desarrollo de las técnicas para producir los diferentes elementos de riego, que ha abaratado sus costos y mejorado sus rendimientos, junto con la expectante rentabilidad que se logra con algunos cultivos al ser regados por estos métodos, han originado que en numerosos casos se busque un cambio en las prácticas agrícolas hacia un riego altamente tecnificado. Estos cambios son generalmente demasiado violentos para el agricultor, requiriéndose para su éxito que el proyecto se enmarque en un programa de desarrollo agrícola, con importantes componentes en puesta en riego, transferencia tecnológica y asistencia técnica en la producción y comercialización.

A continuación, se presenta un caso muy singular en el extremo sur del país, riego de huertos familiares en Puerto Natales, en el cual no solamente se requiere dar la presión gravitacionalmente, sino que toda la conducción del agua desde la fuente madre se ha justificado efectuarla por tuberías. Es así como resulta un proyecto de costos superiores a US\$ 7.000 /ha, pero rentable económicamente y con una serie de ventajas sociales y de otro tipo.

2. DESCRIPCION HUERTOS FAMILIARES

Los Huertos Familiares de Puerto Natales, ubicados en el sector Nor-oriente de la ciudad (fuera del límite urbano), poseen una superficie total de 1.486,2 ha, divididas en 271 parcelas, cuyas extensiones varían entre 2,5 y 8,0 ha cada una. En ellos habitan unas 600 personas, la mayoría de un nivel socio-económico bajo.

Los habitantes de los Huertos recibieron las tierras entre los años 1958 y 1960, correspondientes a asignaciones de predios realizadas por el Ministerio de Tierras y Colonización. Actualmente existen 141 viviendas, cuyos habitantes se dedican básicamente a las labores

agrícolas, en su mayoría de secano, obteniendo bajos rendimientos. La excepción la constituyen pequeñas superficies de invernaderos, los cuales son regados con agua potable o bien con pozos.

El proyecto explotará en parte la potencialidad agronómica de la zona, mejorando los rendimientos de cultivos al aire libre e invernadero, mediante la aplicación de riego con un mayor nivel tecnológico, uniforme y periódico.

La estructura de ingresos actuales de cada predio quedará casi intacta, porque la introducción del riego, afectará al rubro de menor rentabilidad como son las praderas naturales. Los ingresos futuros de los predios incluirán entonces, casi la totalidad de los ingresos actuales, más todo lo que genere el riego seguro, el cual se definirá para una hectárea por parcela, de acuerdo con la disponibilidad de agua.

3. HIDROLOGIA

El análisis hidrológico correspondiente a la estimación del recurso agua disponible para riego, presenta varios grados de incertidumbre y complicaciones, debido principalmente a la escasa información pluvio y fluviométrica, y a las características geomorfológicas y climáticas diferentes a las del resto del país. En efecto, en las 3 cuencas de interés, 11,6 km² del Chorrillo Dorotea, 35,2 km² del Chorrillo Casas Viejas y 13,3 km² del Chorrillo Natales, sólo se cuenta con algunos aforos aislados efectuados por la Dirección General de Aguas en uno o dos años.

La estadística más cercana a la zona del estudio consiste en 3 estaciones pluviométricas y 4 fluviométricas, según se indica en Tabla N°3.1 y se muestra en Figura N°3.1. Después de un análisis comparativo de estas estaciones y sus registros, con los aforos disponibles, se optó por efectuar una transposición de caudales anuales por unidad de área desde el Chorrillo Tres Pasos hacia los puntos de interés. Se descartaron las otras 3 estaciones por diversas razones, principalmente la ubicación y la gran diferencia en el tamaño de las áreas, dado que el supuesto básico de la transposición es el rendimiento específico equivalente de las cuencas.

TABLA N°3.1
INFORMACION PLUVIOMETRICA Y FLUVIOMETRICA

ESTACION FLUVIOMETRICA	UBICACION		AREA km ²	REGISTROS	
	LAT.S	LONG.		DESDE	HASTA
<i>Chorrillo Tres Pasos en Ruta N°9</i>	51°27'	72°28'	72,6	1981	1991
<i>Río Rubens en Ruta N°9</i>	52°31'	71°57'	500	1981	1991
<i>Río Penitente en Morro Chico</i>	52°03'	71°25'	1.747	1980	1991
<i>Río Don Guillermo en Cerro Castillo</i>	51°16'	72°29'	S/I	1980	1991
ESTACION PLUVIOMETRICA	UBICACION		ALTI- TUD msnm	REGISTROS	
	LAT.S	LONG.		DESDE	HASTA
<i>Casas Viejas</i>	51°42'	72°26'	250	1980	1992
<i>José Fagnano-Puerto Natales</i>	51°43'	72°29'	S/I	1983	1991
<i>Sendos Pro. Natales</i>	51°43'	72°30'	S/I	1985	1992

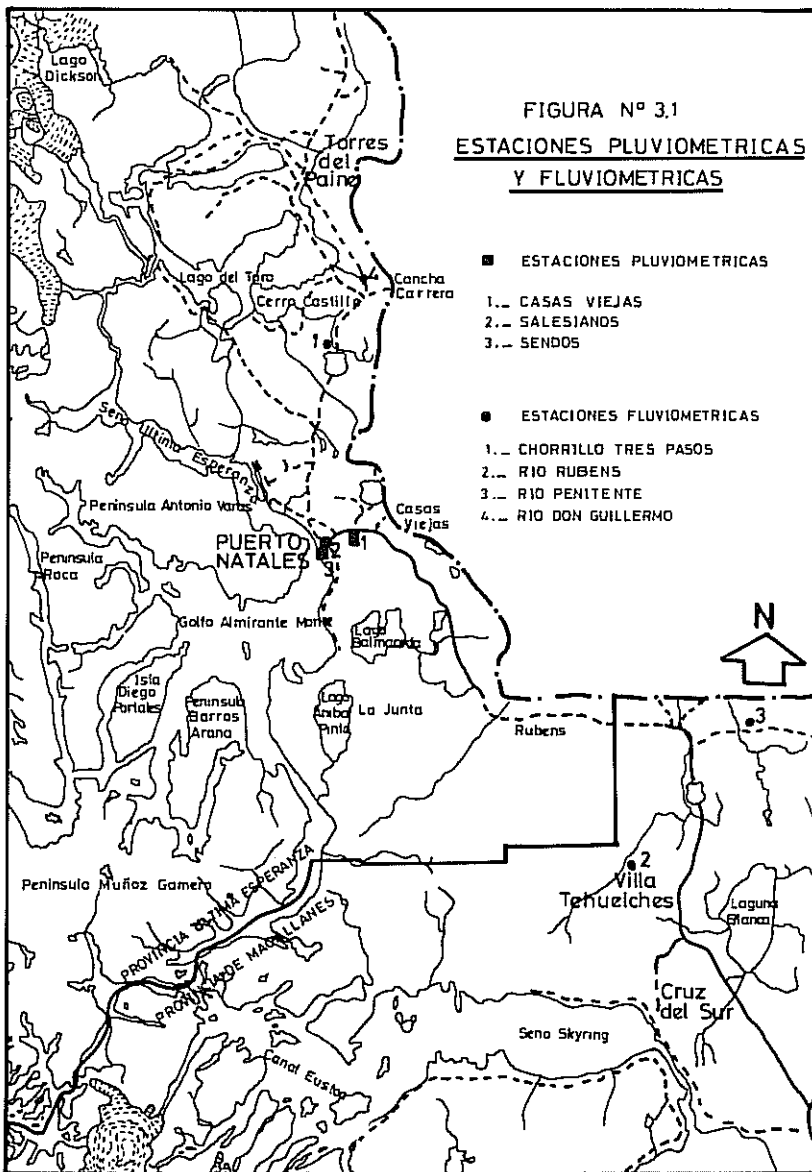
Previo a la transposición, fue necesario rellenar y extender la serie a base de relaciones precipitación escorrentía, estudiadas con la estación pluviométrica de Casas Viejas. Estos últimos registros, a su vez, fueron completados rellenándolos entre 1980 y 1992 a partir de correlaciones mensuales con la estación de José Fagnano-Puerto Natales, y luego extendiéndolos anualmente hasta 1972 a base de curvas doble acumuladas con la estación de Punta Arenas.

Una vez generada la estadística de precipitaciones anuales en la estación base, se analizó la posible relación con la escorrentía anual en la estación Chorrillo en Tres Pasos, observándose una interanualidad bastante fuerte en los años húmedos y algo menor en el resto de los años, lo que permitió determinar finalmente la relación que se indica a continuación, con coeficiente de correlación 0,71.

$$Q(t) = -0,288 + 0,001032 * P(t) + 0,001765 * P(t-1) \quad (1)$$

en que:

- $Q(t)$ = caudal anual del año "t" del Chorrillo Tres Pasos en Ruta N°9, en m³/s.
- $P(t)$ = Precipitación anual año "t" en Casas Viejas, en mm/año.
- $P(t-1)$ = Precipitación del año anterior en Casas Viejas, mm/año.



Con la ecuación anterior, se generó la estadística de Chorrillo Tres Pasos para el periodo 1973-1991, se efectuó el análisis de frecuencia correspondiente, y se calcularon los caudales anuales para las tres cuencas de interés, para diferentes probabilidades de excedencia según se aprecia en Tabla N°3.2.

TABLA N°3.2				
CAUDALES ANUALES PARA RIEGO (l/s)				
PROBAB.DE EXCEDENCIA ANUAL (%)	CHORRILLO TRES PASOS EN RUTA 9	CAPTACION N°1 CH.DORÓTEA	CAPTACION N°2 CASA VIEJAS	CAPTACION N°3 CH.NATALES
30	495	79	240	91
50	315	50	153	58
70	205	33	99	38
85	170	27	82	31
95	150	24	73	27
AREA (km²)	72,6	11,6	35,2	13,3

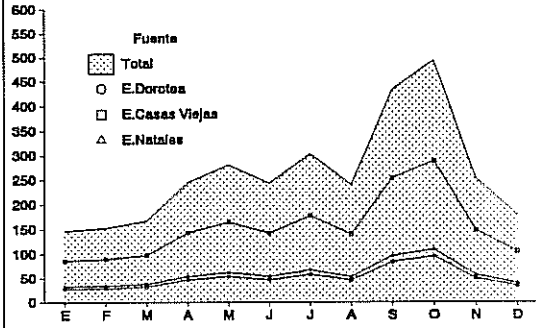
Con respecto a la distribución de este caudal medio a lo largo del año, se analizaron las características de las diferentes estaciones con registros y, basado principalmente en la morfología de las cuencas, se optó por recurrir a la distribución mensual de "río Rubens en Ruta N°9", resultando finalmente con probabilidades de excedencia 50% y 85%, los caudales que se indican en la figura N°3.2.

Figura N°3.2



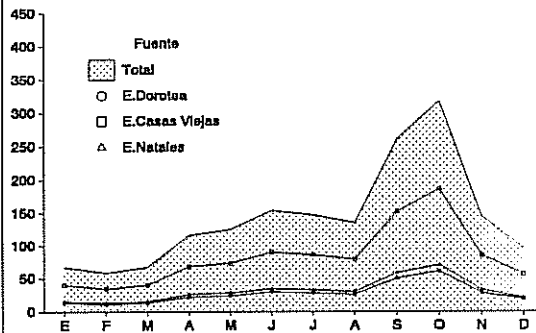
CAUDALES MENSUALES 50% ACUMULADOS (l/s)

Oferta Hidrológica Total en las 3 Captaciones



CAUDALES MENSUALES 85% ACUMULADO (l/s)

Oferta Hidrológica Total en las 3 Captaciones



4. ANALISIS SITUACION ACTUAL Y FUTURA DE LOS HUERTOS

Se efectuó un diagnóstico de la situación agropecuaria actual, que incluyó los siguientes aspectos:

- *Reconocimiento del área y del número de predios.*
- *Sectorización y tenencia de la tierra.*
- *Uso actual de la tierra productiva por rubros.*
- *Caracterización productiva y económica agrícola.*
- *Identificación de predios tipo y sistemas de producción.*
- *Mercados, comercialización y precios.*
- *Requerimientos actuales de mano de obra.*

Se concluyó que los huertos presentan serias limitaciones para su desarrollo agrícola, que se pueden resumir de la siguiente forma:

- *El uso de los recursos naturales está lejos de aprovechar todas sus potencialidades.*
- *La aleatoriedad de la agricultura de secano ha provocado que sólo sea de subsistencia.*
- *La falta de seguridad hidrológica frena el desarrollo agrícola, por lo riesgoso que resultan las inversiones.*
- *No se producen volúmenes significativos para llegar a los principales mercados, como el de Punta Arenas.*
- *Hay una importante cantidad de mano de obra subutilizada.*
- *El precio de los insumos es bastante elevado para los niveles productivos actuales.*

Junto con detectar las limitantes indicadas, se pudo verificar que la implementación del proyecto de riego permite crear las condiciones adecuadas para eliminar estos factores.

En consecuencia, se analizó un posible esquema de riego para las 271 parcelas, de manera que se llegue con el proyecto a toda la gente, basado en técnicas modernas y eficientes de riego, que fueran compatibles con el escaso recurso de agua disponible y con la potencialidad agroeconómica de la zona.

Los estudios de infiltrometría demostraron que los suelos a regar tienen una capacidad de infiltración tan alta que si se hiciera el riego por canales, aún cuando éstos deberían ser de todos modos revestidos, la aplicación de riego a nivel de campo, por surcos, bordes u otros medios gravitacionales, sería inaplicable.

Agrava la situación anterior el hecho de tener que entregar caudales muy pequeños a cada predio, debido a su gran cantidad, limitación del recurso y a la frecuencia del riego.

Por todas estas razones técnicas se determinó que la mejor solución es el riego tecnificado. Después de revisar adicionalmente otros aspectos tales como el clima, los suelos en lo que se refiere a capacidad de uso, clases de drenaje, categorías y aptitud frutal, cultivos y tasas de riego, rendimientos, uso de la mano de obra, comercialización y otros factores propios de la zona, se llegó finalmente a definir el siguiente predio tipo:

*Con Riego: Lechuga, 500 m² por goteo en invernadero
Tomate, 500 m² por goteo en invernadero
Fruilla, 2.000 m² por goteo al exterior
Ajo, 2.000 m² por goteo al exterior
Praderas Artificiales, 5.000 m² por aspersión*

Sin Riego: Similar a lo existente

Con este esquema, es posible regar con adecuada seguridad los diferentes cultivos, garantizando 100% para los invernaderos.

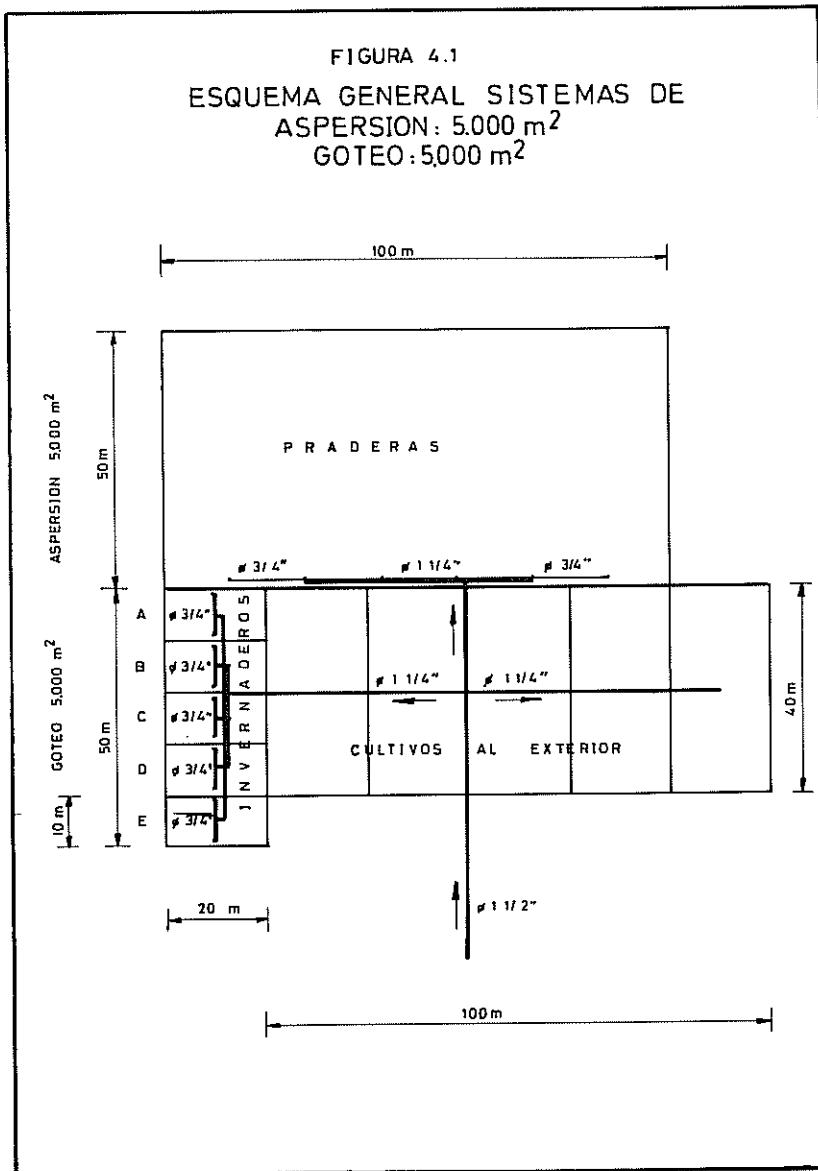
El diseño correspondiente se puede apreciar en la figura N°4.1.

5. EL PROYECTO

El esquema de riego diseñado requiere de energía para el correcto funcionamiento de los diferentes elementos del sistema. Para ello, se verificó que era posible aprovechar los desniveles existentes entre las fuentes de agua y la zona de riego, sin necesidad de recurrir a estanques ni a elevaciones.

Las diferentes alternativas que se pensaron en un comienzo para la conducción de las aguas consistían en canales, tuberías en acueducto y tuberías en presión. El principal problema de los canales a tajo abierto lo constituían los bajos caudales disponibles y la gran distancia de

FIGURA 4.1
 ESQUEMA GENERAL SISTEMAS DE
 ASPERSION: 5.000 m²
 GOTEO: 5.000 m²



conducción que debían recorrer (del orden de 12 km), lo que transformaba esta alternativa en prácticamente infactible. Las tuberías en acueducto fueron descartadas principalmente por razones económicas, escogiéndose como solución más adecuada, la alternativa de tuberías en presión.

Las características climáticas de la zona, con crudos inviernos nevados, obligaron a enterrar estas tuberías como mínimo a 1 m sobre su clave. Los diámetros con que se proyectaron tanto la tubería de aducción como la red de distribución fueron variables entre 50 y 355 mm, escogiendo un trazado que permitiera que en todo momento la presión dinámica de trabajo en las tuberías fuese inferior a la admisible (con un margen de seguridad holgado). Para todos los diámetros se justificó económicamente el PVC como el material más apropiado.

Una vez decididos el trazado, el tipo de conducción y el material, se procedió a verificar los diámetros para los diferentes tramos y el diseño de las diferentes componentes del sistema, con los siguientes criterios básicos generales:

- * Cálculo hidráulico según pérdida de carga por fricción dada por la expresión de Hazen Williams, con $C = 150$:

$$J^{0.54} = \frac{2,394 * 10^{-5} * Q}{D^{2.63}} \quad (2)$$

donde:

J : Pérdida de carga unitaria por fricción.

Q : Caudal de diseño (l/s).

D : Diámetro interior de la tubería (m).

- * La velocidad máxima en tuberías se ha establecido en 4 m/s.
- * Se empleará acero A44-28H y hormigón H15 con una dosis mínima de cemento de 300 kg/m³ en el diseño estructural de las obras.
- * Se diseñarán las obras para una vida útil de 30 años.

Con respecto a las bocatomas, se consideraron adicionalmente los siguientes aspectos:

- * No se permitirá el ingreso del material de arrastre ni de elementos flotantes.
- * Captación principal se hará mediante barrera frontal, con compuerta desripadora.

- * *No se permitirá entrada de aire al sistema.*
- * *Se protegerán las obras contra crecidas.*
- * *Las pérdidas de carga de entrada se estimaron en a lo más 0,5 alturas de velocidad, y la de salida en una altura de velocidad.*
- * *Se provocará altura crítica de escurrimiento a través de una grada para aforar el caudal de entrada.*
- * *El resalto que se producirá entre la grada y la entrada de la aducción será completo.*

Por otra parte, el diseño de la tubería requirió de las siguientes obras y medidas de seguridad en los puntos singulares:

- * *Ventosas aerocinéticas en los puntos altos de la tubería, entre desagües.*
- * *Ventosas de purga en los puntos altos y en las bajadas. Máximo cada 1.000 m.*
- * *Desagües en todos los puntos bajos de la tubería para asegurar que no existirá agua en la tubería que pueda congelarse en invierno.*
- * *Cámaras corta presión para evitar presiones estáticas sobre la admisible de trabajo de la tubería.*

La red de distribución, a su vez, se diseñó con criterios similares a los de la tubería de aducción, además de los que se señalan a continuación:

- * *Las presiones máximas y mínimas serán las recomendadas para la tubería por un lado y para los equipos de riego tecnificados, por otro.*
- * *La red será de tipo cerrada y el material también de PVC, especificándose según las presiones de trabajo clases 6 y 10.*
- * *El análisis de la red se realiza considerando la condición más desfavorable, es decir, todos los usuarios regando en forma simultánea. Además se verifica la condición estática.*

Finalmente, se consideró una Red Baja y una Alta, que permitan la construcción e implementación del proyecto por etapas. El gasto de diseño para cada parcela tipo es de 0,7 l/s, contando cada una con su propio medidor y un filtro para garantizar una calidad de aguas tal que no se obstruyan los elementos de riego tecnificado.

El esquema general del proyecto se puede apreciar en la figura N°5.1 y los costos asociados en la tabla N°5.1 siguiente:

<i>Tabla N°5.1</i>	
<i>ITEM</i>	<i>COSTO (\$)</i>
<i>1. Captación Natales</i>	<i>1.809.970</i>
<i>2. Aducción Natales</i>	<i>375.030</i>
<i>3. Cámara de Unión</i>	<i>464.680</i>
<i>4. Aducción 2</i>	<i>85.631.540</i>
<i>5. Red Alta de Distribución</i>	<i>180.853.590</i>
<i>6. Desvío Estero Dorotea</i>	<i>5.755.530</i>
<i>7. Captación Casas Viejas</i>	<i>3.955.220</i>
<i>8. Aducción 1</i>	<i>207.264.460</i>
<i>9. Red Baja de Distribución</i>	<i>230.808.380</i>
<i>Total</i>	<i>716.918.400</i>

En la tabla anterior, los ítem 1. a 5. corresponden a la 1ª Etapa propuesta de construcción, que tiene un costo de \$269.134.810 y se postula construir en 6 meses. Por su parte, la 2ª Etapa tiene un costo de \$447.783.590 y se postula construir en 7 meses. Los períodos de construcción comenzarían con el llamado a licitación en los meses de septiembre y agosto, respectivamente, con el fin de realizar ambos trabajos en verano.

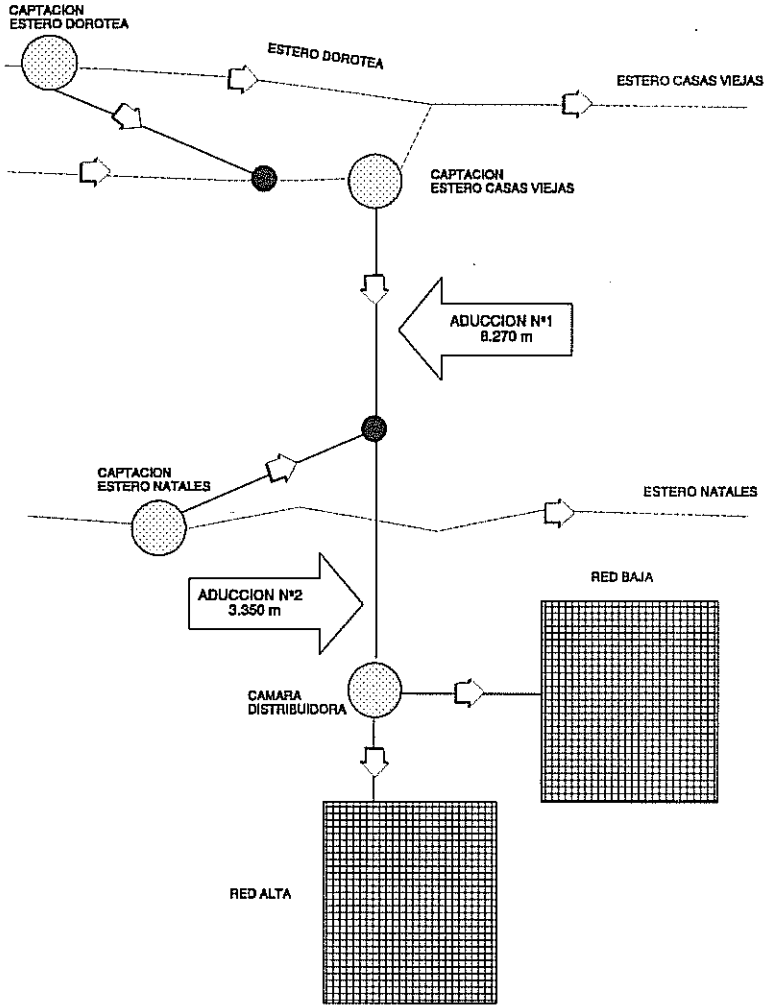
6. EVALUACION Y FINANCIAMIENTO

Se efectuó una evaluación para 30 años, considerando las pautas de Mideplan e incorporando los demás costos y beneficios asociados al proyecto, tales como la puesta en riego incluidos los invernaderos, operación y mantención, etc., y descontando la situación actual a la situación de flujos con proyecto. El VAN privado resultó ser \$267 millones, con un TIR del 14,1%.

El proyecto así concebido puede postular al Programa de Riego de Obras Medianas y Menores, PROMM, que el Gobierno está impulsando con un crédito blando del Banco Mundial.

Figura N°5.1

ESQUEMA DE UBICACION OBRAS HUERTOS FAMILIARES PUERTO NATALES



Este Programa incluye importantes beneficios, tales como subsidios para las obras civiles, puesta en riego, asistencia técnica y transferencia tecnológica a los agricultores. El ingreso medio anual por parcela de 5 ha sube de \$ 440.620 sin proyecto a \$ 1.614.490 con proyecto para los agricultores, lo que permite solventar con bastante holgura las cuotas anuales que deberán pagar para reembolsar los costos del proyecto que les corresponden.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por primera vez en la XII Región, se ha proyectado un sistema de riego para un grupo de regantes.

Se ha diseñado un sistema no tradicional de riego, que incluye la distribución y más de 11 km de conducción por tuberías enterradas. Las especiales características del lugar han indicado la necesidad de separarse del concepto tradicional de seguridad de riego, diseñando un esquema de cultivos acorde con la incertidumbre hidrológica, de modo que los más rentables tengan siempre asegurada el agua.

La ubicación del lugar y de los centros de consumo, Puerto Natales, Punta Arenas y Río Turbio en Argentina, ha contribuido fuertemente a que el proyecto sea rentable, a pesar del alto costo.

Las metas futuras parecen ambiciosas, pero hay que considerar que las inversiones que se requieren son cuantiosas. Ningún esquema en base a cultivos tradicionales será capaz de justificar las obras. Sólo será posible justificar las obras, si los agricultores y la comunidad junto con ellos, están dispuestos a dar un salto adelante, que es lo que representa el nuevo esquema planteado.

El proyecto de desarrollo de los Huertos Familiares de Puerto Natales significará un aumento sustancial de la demanda de mano de obra, que equivale a un aumento de alrededor de 160 trabajadores permanentes, con respecto a la situación actual, dando solución a un importante problema de cesantía. Además, significará un desarrollo integral para la Región y muy especialmente para Puerto Natales.

