



**REPÚBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

**UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**“APOYO TÉCNICO PARA LA MESA REGIONAL DEL AGUA EN LA
REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, Y DESARROLLO DE
ESTRATEGIAS REGIONALES DEL RECURSO HÍDRICO”**

CONVENIO DGA-UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ

ORDEN DE TRABAJO N° 1

INFORME FINAL

Arica, Julio de 2010

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Sr. Hernán de Solminihaq T.

Director General de Aguas
Sr. Matías Desmadryl L.

Jefe División de Estudios y Planificación
Sr. Pedro Rivera I.

Inspector Fiscal
Sr. Luis Rojas B.

Profesionales Participantes

Sr. Waldo Contreras Valdés

UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ

Jefe de Proyecto

Ing Agrónomo MSc. Sr. Amador Torres H.

Profesionales

Ing. Agrónoma Dra. Srta. Claudia Silva J.

Ing. Agrónoma Lic. Sra. Mónica Jiménez P.

Química Laboratorista Sra. Patricia Pacheco C.

| INDICE | | PAGINA N° |
|--------|---|--------------|
| 1 | Presentación | 3 |
| 2 | Antecedentes Generales | 4 |
| | 2.1 Clima | 6 |
| | 2.2 Suelos | 8 |
| | 2.2.1 Uso del suelo | 11 |
| 3 | Agua de riego | 15 |
| | 3.1 Fuente de agua | 15 |
| | 3.1.1 Caudales superficiales | 15 |
| | 3.2 Constituyentes químicos | 17 |
| | 3.2.1 Niveles tóxicos de sodio, boro y cloruros | 21 |
| | 3.3 Uso del agua por la agricultura | 30 |
| | 3.3.1 Infraestructura de riego | 30 |
| | 3.3.2 Demanda de agua | 34 |
| | 3.3.3 Actividad productiva | 35 |
| 4 | Situación actual de la agricultura en el Valle de Lluta | 37 |
| 5 | Información asociada al desarrollo de nuevos emprendimientos, en los que se ha diversificado el tipo de cultivos del valle y aplicación de riego tecnificado. | 66 |
| 6 | Ubicación georreferenciada en coordenadas UTM. | 75 |
| 7 | Conclusiones y avance crítico sobre el efecto de las sales en los cultivos en el Valle de Lluta. | 77 |
| | 7.1 Visión crítica de los diagnósticos descritos por diversos consultores | 77 |
| | 7.2 Ventajas potenciales del establecimiento de embalses reguladores de caudal en el río Lluta | 78 |
| | 7.3 Sugerencias de mejoramiento en la prestación de servicios y en la calidad de aguas | 80 |
| | 7.4 Necesidades de seguimiento, difusión y capacitación | 81 |
| | 7.5 Costos ambientales y posibles impactos | 82 |
| | 7.6 Utilización de suelos y aguas con problemas de salinidad | 85 |
| | 7.6.1 Efecto de las sales solubles sobre el crecimiento de las plantas | 85 |
| | 7.7 Aproximación de soluciones | 91 |
| | 7.7.1 Crear y establecer cultivos resistentes a las condiciones del Valle de Lluta. | 97 |
| | 7.7.2 Mejoramiento de la calidad química del agua de riego | 98 |
| 8 | Conclusiones | 104 |
| 9 | Bibliografía | 107 |

1.- Presentación

En este Informe Final se da cuenta de las actividades desarrolladas en el marco del convenio Dirección General de Aguas (DGA) y la Universidad de Tarapacá (UTA) **“APOYO TÉCNICO PARA LA MESA REGIONAL DEL AGUA EN LA REGION DE ARICA Y PARINACOTA, Y DESARROLLO DE ESTRATEGIAS REGIONALES DEL RECURSO HÍDRICO”**, para el cual se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivos:

1. Obtener una caracterización de la situación actual de la agricultura en el Valle de Lluta, en función de la cantidad y calidad del agua de riego, así como de su variabilidad temporal y espacial.
2. Análisis crítico de iniciativas realizadas por medio de manejo agronómico, en cultivos sensibles a la calidad del agua del río Lluta.
3. Recopilar y sistematizar la opinión de los agricultores, respecto de posibles medidas destinadas a mejorar la situación del valle de Lluta, en el corto, mediano y largo plazo.

El trabajo que se presenta en este informe final y que fue posible realizar gracias a la coordinación entre la Dirección General de Aguas y la Universidad de Tarapacá es una primera aproximación al problema de salinidad que genera una baja rentabilidad de la actividad agrícola en el Valle de Lluta. Se hace necesario por tanto, realizar estudios de índole cuantitativa sobre la temática de salinidad, desarrollando labores de seguimiento continuo que aporten nuevos antecedentes, los cuales deben ser validados en terreno y posteriormente traspasados a través de un Plan de Extensión permanente al sector productivo. Esto podría lograrse estableciendo una mayor asociatividad entre las instituciones regionales del Estado

vinculado con los procesos de investigación y desarrollo tecnológico, obteniéndose mayores beneficios y maximizando el uso de la infraestructura actualmente existente, además de vincular el saber y los esfuerzos de los profesionales del sector.

2.- Antecedentes Generales

La superficie total agrícola de la zona denominada “ Valle del Bajo Lluta “ ubicada a lo largo de un tramo de 65 km. entre Vilacollo y la desembocadura , es de 7.606 ha, (DGA 2004), de las cuales normalmente se cultivan sólo 2.784 ha equivalente al 37%. Los cultivos principales son el Maíz (*Zea mays var. amylocea*), y la Alfalfa (*Medicago sativa*). El maíz (*Zea mayz L*) en los sectores aguas arriba de Poconchile tiene dos cosechas al año, la primera cosecha se cultiva en el período comprendido entre marzo y junio, y la segunda entre septiembre y diciembre; en el área aguas abajo de Poconchile normalmente hay sólo una cosecha. Las hortalizas y el forraje son cultivados durante todo el año JICA (1995). La superficie cultivada se presenta en la Tabla 2.1

Tabla 2.1. Superficie cultivada con los principales cultivos del Valle de Lluta.

| Tipo de cultivo | Área (ha) | % de Área cultivada |
|-----------------|----------------|---------------------|
| Maíz | 1.698.4 | 61.0 |
| Alfalfa | 683.9 | 24.6 |
| Hortalizas | 401.9 | 14.4 |
| Total | 2.784.2 | 100.0 |

Fuente: JICA 1995.

La agricultura en el valle de Lluta ha estado asociada al desarrollo del Norte de Chile y de los países vecinos Perú y Bolivia. Existen vestigios de cultivos de trigo (*Triticum Sativum* Lam), lo que se demuestra por las piedras de molinos encontradas en descubrimientos arqueológicos.

El desarrollo del salitre generó una gran demanda de alimento para los animales de carga, mulas principalmente, lo que aumentó el interés por el cultivo de pastos principalmente Alfalfa (*Medicago sativa*), a lo cual se suma la necesidad para abastecer las guarniciones militares de Tacna y Arica; es por esta razón que el valle de Lluta se transformó en un gran productor de Maíz (*Zea mays* L.) y Alfalfa (*Medicago sativa*) en el Norte de Chile.

Posteriormente aumenta la población local, se mantienen las necesidades por productos agrícolas en el Norte derivado de la actividad minera, salitre principalmente, se incorporan nuevos cultivos que presentan un buen comportamiento a las sales, entre ellos, cebolla (*Allium cepa* L.) y ajos (*Allium sativum* L.).

El Maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante en el valle, se encuentra ya por el año 900, el riego por contreo, metodología milenaria que se mantiene en gran medida hasta nuestros días, esta consiste en el encadenamiento de varios surcos de riego, en donde el derrame de unos riega a otros, con lo cual se logra un buen aprovechamiento del agua de riego al permitir minimizar los derrames. El maíz cultivado se destaca por su gran resistencia a las condiciones de sales especialmente responde a altos contenidos de Boro.

Respecto a la superficie cultivada con Maíz, (*Zea mays* L.), el censo de 1925 registró 200 ha dedicadas a este cultivo, en 1943 son 616 ha, el año 1955 son 871 ha, el censo de 1965 registró 956 ha, en 1973 existen antecedentes de 1.502 ha, en 1975 se cultivaron 1.600 ha, (Espina 1979). según JAICA 1995 en ese año se cultivaron 1.698.4 ha.

La estructura de la propiedad se presenta en la Tabla 2.2, se observa que el tamaño promedio es 3,6 ha, por otra parte el 59,1% de los predios presentan una superficie entre 1,0 y 7,0 ha, con un tamaño promedio de 2,7 ha por predio, esto

significa que la propiedad agrícola en el valle de Lluta se encuentra altamente dividida.

Tabla 2.2 Estructura de la propiedad en el Valle de Lluta

| Rango ha. | N° de predios | % | Superficie cultivable | % | Tamaño promedio |
|------------------|----------------------|----------------|------------------------------|-------------------|------------------------|
| | Totales | Predios | Ha | Superficie | Ha |
| 0 - 0,9 | 124 | 25,5 | 52,6 | 3,0 | 0,4 |
| 1,0 - 7,0 | 288 | 59,1 | 771,8 | 44,2 | 2,7 |
| 7,1 - 20,0 | 71 | 14,6 | 817,5 | 46,8 | 11,5 |
| > 20 | 4 | 0,8 | 105,0 | 6,0 | 26,3 |
| Total | 487 | 100,0 | 1.746,9 | 100,0 | 3,6 |

Fuente: INGENDESA 2004

2.1. Clima.

En el Valle de Lluta se encuentran dos zonas Agroclimáticas, el Agroclima Arica en el tramo occidental del Valle de Lluta y el Agroclima Poconchile, en el tramo oriental y más alto del valle, (SANTIBÁÑEZ, 1996); las características climáticas de ambas zonas pueden ser observadas en la tabla 2.3

Tabla 2.3 **Características climáticas**

| | Temp. media anual °C | Temp. máxima media °C | Temp. mínima media °C | Grados días base 5 °C | Grados días base 10 °C | Evaporación anual en mm. |
|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Agro clima Arica | 19 | 27,4 | 13,1 | 5.134 | 3.309 | 1.200 |
| Agro clima Poconchile | 18,4 | 27,7 | 9,3 | 4.875 | 3.050 | 1.759 |

Fuente: Santibáñez. F. 1996

Figura 2.1 **Valles de Lluta y Azapa**



Fuente: Google Earth

2.2. Suelos

Los suelos contienen sales solubles que provienen de la descomposición de las rocas y también, de las aguas utilizadas para riego, además de las aguas provenientes del subsuelo. Las aguas de riego aportan sales al suelo y las aguas de drenaje las eliminan. Cuando la cantidad de sales incorporadas al suelo es mayor que la cantidad eliminada, se incrementa el nivel de salinidad, pudiendo llegar a límites peligrosos.

En el año 1980, la consultora INDERCO LTDA, luego de realizar un detallado estudio de la red de drenaje del valle de Lluta con el objeto de proponer alternativas de mejoramiento del sistema de drenaje, renovando la condición agrícola del valle, propuso agrupar los suelos del valle en tres grupos:

- a) Suelos que ocupan posición baja, estratificados: Series Huaylacán, La Palma y Rosario. Son de origen aluvial, profundos, altamente estratificados, con texturas medias a gruesas, excepto el suelo Rosario que presenta una textura fina en el subsuelo, de colores oscuros dado su alto contenido de materia orgánica, con nódulos salinos en sus primeras estratas, presumiblemente de cloruros y sulfatos, estructura de bloques subangulares y angulares gruesos, débil, de consistencia ligeramente plástica, ligeramente adhesiva en mojado, friable en húmedo y ligeramente duro en suelto en seco; con un desarrollo radical abundante grueso y entrelazado en las primeras estratas, debido principalmente a la grama salada (*Dischlis spicata*); buena porosidad, moteados ferruginosos prominentes abundantes desde las estratas superficiales de color pardo rojizo, con napa de agua libre fluctuante entre 60 y 175 cm de profundidad.

Sus características químicas están dadas por pH fuertemente ácido a moderadamente alcalino, CE de 4,5 a 9,8 dS/m a 25 °C en las primeras estratas (0 a 55 cm. de profundidad), de 2,9 a 5,9 dS/m a 25 °C en profundidad, con porcentaje de sodio de intercambio de 6 a 5,65 en las primeras estratas (0 a 55 cm.) y de 5 a 116 ppm en profundidad, con contenidos de B de 19 a 938

ppm. en profundidad y contenidos de cloruros de 20,4 a 1.086,4 meq/L en las primeras estratas (0 a 55 cm.) y 12,4 a 26,9 meq/L en profundidad. Los contenidos de sulfatos van de 40,5 a 270 meq/L en las primeras estratas (0 a 55 cm.) y de 16,2 a 47,5 meq/L en profundidad, con un contenido de materia orgánica de 2,0 a 42,9 % en las primeras estratas (0 a 5 cm.) y de 0,1 a 4,6 % en profundidad. Presentan un drenaje externo lento, drenaje interno muy lento, permeabilidad moderada a lenta. Clasificado en clase de drenaje de pobre a muy pobre

Se encuentran principalmente bajo una cubierta vegetal de grama salada y brea (*Thessaria absinthoides*), presencia en los lugares más depresionados de totora (*Tipha angustifolia*), junco (*Juncus procerus*) y cola de caballo (*Equisetum giganteum*). Ocasionalmente con cultivos de maíz y alfalfa. Presentan costra salina superficial discontinua y ocupan una superficie de 80,7 ha del área estudiada, lo que alcanza al 44 %.

b) Suelos que ocupan terrazas aluviales recientes, menos estratificadas: Corresponden a las series El Carmen y Santa Lucía. Se caracterizan por ser suelos aluviales recientes, ocupando preferentemente las terrazas bajas ribereñas, expuestas a inundaciones, poco estratificado, moderadamente profundos a medio; descansando sobre un substratum aluvial de arenas gruesas, gravas y piedras de litología heterogénea. Su textura es moderadamente fina, media y moderadamente gruesa, de colores pardo a pardo grisáceo, de estructura de bloques subangulares gruesos y débiles a sin estructura, de consistencia plástica a ligeramente plástico y adhesivo en mojado, friable a suelto en húmedo y ligeramente duro en seco, con raíces finas abundantes a comunes y buena porosidad, con moteados ferruginosos en el subsuelo prominentes, de color pardo rojizo. Sin napa de aguas libres. De características químicas dada por pH moderadamente ácido a neutro, con CE de 2,2 a 13,4 dS/m a 25 °C, con % PSI de 8 - 13 %, contenido de B de 4-20 ppm, contenido de cloruros de 09,9 a 105,9 meq/L, contenido sulfatos de 12,5 a 57,5 meq/L y materia orgánica de 0,2 a 3,4 %.

Presenta drenaje externo medio a lento, drenaje interno lento, con permeabilidad moderada. Clasificados en clase de drenaje moderadamente bien drenado a imperfecto.

En los suelos Santa Lucía usualmente bajo una cubierta vegetal de grama salada, con presencia en los sectores más depresionados de vegetación asociada a zonas con problemas de drenaje (totora, brea, junco, cola de caballo, etc.).

c) Suelos que ocupan terrazas intermedias antiguas correspondientes a las Asociaciones de series Carrunchos y Gentilar: Se caracterizan por ser suelos aluviales antiguos, ocupando preferentemente terrazas de posición intermedia en la parte central del área, moderadamente profundos a delgados. De texturas moderadamente gruesas a muy gruesas, de colores pardo a pardo oscuro hasta los 82 cm, luego presentan colores varios en el substratum arenosos, de estructura de bloques subangulares, angulares gruesos, débil a no estructurado, de consistencia ligeramente plástico a no plástico y ligeramente adhesivo a no adhesivo en mojado, suelto, friable y firme en húmedo, suelto a duro en seco, con raíces finas comunes a escasas, con poros comunes a escasos. Sin napa de agua libre ni fluctuante.

Las características químicas están dadas por un pH moderadamente ácido, con CE de 5,9 -2 dS/m a 25 °C en el perfil, con un % de PSI de 10 %, B de 19 -4 ppm en el perfil, cloruros de 14,7 a 7,2 meq/L; sulfatos de 53,5 a 9,3 meq/L y materia orgánica de 1,4 a 0,5 5 en el perfil.

Presentan un drenaje externo lento a rápido, drenaje interno medio a rápido, permeabilidad moderada a moderadamente rápida, clasificada en clase de drenaje moderadamente bien drenado a excesivo.

De la Riva y Sotomayor (1979), habiendo descrito parte de los suelos del Valle de Lluta (Asociaciones de Series Carrunchos, Cayacazo, Gentilar, Perico y suelos misceláneos), concluyeron que la alta salinidad se debe al mal

drenaje existente y a la alta evaporación, la cual junto al fenómeno de capilaridad, ayuda el ascenso de sales; a lo que debe sumarse el aporte salino de las aguas del río Lluta. También los autores se refieren al pH de los suelos, señalando que los mayores valores de pH se deben a la concentración de sales sódicas.

2.2.1 Uso del suelo

El uso de los suelos en el valle de Lluta está afectado, según (INDERCO, 1980) ; (INGENDESA 1993) , (INGENDESA 1994), por las siguientes limitantes:

- Salinidad, tanto de los suelos como del agua del río Lluta representada, fundamentalmente, por una alta concentración de sulfatos, cloruros, y de sodio soluble.
- Concentración de boro en el agua del río Lluta cuyo rango oscila entre 9 y 29 mg/l que se traduce en una limitante general para la adaptación de nuevos cultivos al valle.
- Problemas de drenaje interno de los suelos, que amplifica el efecto de las limitantes anteriormente mencionadas, e impiden las practicas de lixiviación de sales.

La salinidad del suelo es una de las principales limitaciones del medio ambiente para la productividad de los cultivos en todo el mundo. El enfoque "biológico" para este problema se centra en el manejo, explotación, o el desarrollo de plantas capaces de prosperar en los suelos afectados por la sal. Se logran mejoras considerables en el crecimiento y el rendimiento en un número de cultivos, al tratar las semillas antes de plantarlas con químicos inorgánicos u orgánicos, o con temperaturas altas o bajas, o la aplicación exógena de químicos orgánicos, tales como betaína glicina, prolina, o reguladores del crecimiento vegetal (ASHRAF, M et al. 2008)

Se han realizado grandes esfuerzos para desarrollar líneas tolerantes a la sal a través del mejoramiento genético, sin embargo, la complejidad de los mecanismos de tolerancia, la falta de criterios de selección, y la variación de las respuestas de las plantas en diferentes etapas de desarrollo se han traducido en un éxito limitado.

En el Valle de Lluta, predominan condiciones de suelos y aguas con alta concentración salina y presencia de toxicidad por iones específicos, como sodio, cloruros y boro. Esto ha afectado el espectro de cultivos y ha determinado que el desarrollo de los procesos y actividades agrícolas que allí realizan los productores se efectúe con rentabilidades muy bajas, en que los estrechos márgenes de utilidad afectan el interés por incorporar nuevas tecnologías (DOUSSOULIN E. y QUEZADA C. 2008).

En los suelos sódicos, es decir aquellos que presentan más del 15 % de sodio intercambiable, pero una conductividad eléctrica menor de 4 dS/m, se produce una dispersión de las partículas del suelo, reduciendo la permeabilidad y el movimiento del agua (AMEZKETA 2007). La sodicidad del suelo, es decir la excesiva cantidad de sodio respecto del calcio y del magnesio adsorbido en el complejo de intercambio del suelo, causa graves problemas en la agricultura y el medio ambiente, por sus negativos efectos en la estabilidad estructural del suelo y en la conductividad hidráulica.

La salinidad afecta el crecimiento y producción de los cultivos al reducir el potencial hídrico de la solución del suelo, disminuyendo así la disponibilidad de agua, y al crear un desequilibrio nutritivo dado la elevada concentración de elementos (Na^+ , Cl^-) que pueden interferir con la nutrición mineral y el metabolismo celular. En consecuencia, los diversos efectos observados a distinta escala, desde reducción de turgencia y crecimiento hasta la pérdida de la estructura celular por desorganización de membranas e inhibición de la actividad enzimática, son el producto combinado de estrés hídrico, toxicidad iónica y desequilibrio nutricional (AMEZKETA, E. 2007).

Para lograr la adaptación de las plantas a condiciones salinas, se debe aumentar la capacidad de obtener y/o retener agua, y restituirse la homeostasis iónica. Estos mecanismos de adaptación se traducen en un menor crecimiento, modificación de la relación parte aérea/raíz, limitación de la expansión foliar, y son consecuencia de cambios bioquímicos (como síntesis de ácido abscísico y solutos osmoprotectores) y fisiológicos tales como alteración de la permeabilidad de las membranas a los iones y al agua, cierre estomático, disminución de transpiración y fotosíntesis (AMEZKETA, E. 2007).

La superficie total agrícola de la zona denominada "Valle del Bajo Lluta" ubicada a lo largo de un tramo de 65 km. entre Vilacollo y la desembocadura, Lluta alcanza a 7.606 ha de las cuales, 2.784,2 has son cultivadas JICA (1995). Los cultivos principales son el Maíz (*Zea mays var amyloacea*), la Alfalfa (*Medicago sativa*). El maíz (*Zea mays L*) en los sectores aguas arriba de Poconchile tiene dos cosechas al año, la primera cosecha se cultiva en el período comprendido entre marzo y junio, y la segunda entre septiembre y diciembre; en el área aguas abajo de Poconchile normalmente hay sólo una cosecha. Las hortalizas y el forraje son cultivados durante todo el año. La superficie cultivada se presenta en la tabla 4.4.

Tabla 2.4 Superficie cultivada con los principales cultivos de Valle de Lluta.

| Tipo de cultivo | Area (ha) | % de Area cultivada |
|-----------------|-----------|---------------------|
| Maíz | 1.698.4 | 61.0 |
| Alfalfa | 683.9 | 24.6 |
| Hortalizas | 401.9 | 14.4 |
| Total | 2.784.2 | 100.0 |

Fuente: JICA (1995).

Entre los años 1998 y 2007, el SAG a través del programa de Recuperación de Suelos Degradados ha beneficiado a 186 agricultores. A través de este programa se han incorporado a la actividad productiva del valle 682 ha, detalle del monto asignado se presenta en la tabla 2.5

Tabla 2.5 Programa de recuperación de suelos SAG.

| Valle de Lluta | 1998-2007 |
|----------------|-------------|
| Montos (\$) | 214.921.285 |
| Ha | 682 |
| Agricultores | 186 |

Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero. 2007

3. Agua de riego

3.1 Fuentes de agua

La fuente de agua proviene del río Lluta, río que tiene una cuenca de drenaje es de 3.378 km² (JICA, 1995), en la cual recibe diferentes tributarios (tabla 3.1). En la cuenca se producen precipitaciones que se concentran en la sección superior de la Cordillera de los Andes a una altitud de 4.000 – 5.000 m.s.n.m. El río es exorreico y su punto de descarga al mar se encuentra al norte de la ciudad de Arica.

Tabla 3.1 Tributarios del Río Lluta

| Tributario | Aporte (en %) al caudal del Río Lluta |
|---|---------------------------------------|
| Caracarani | 13 |
| Azufre | 7 |
| Cascavillanes, Teleschufo, Guancarane y Chuquiananta | 28 |
| Colpitas | 28 |
| Putre, Aroma y Socoroma | 24 |

Fuente INGENDESA. (1993)

3.1.1 Caudales superficiales

El gasto medio anual puede estimarse en 1800 l/seg., o bien, 57 millones de m³ anuales, aproximadamente. El régimen de escurrimiento presenta un aumento considerable en los meses de diciembre a marzo, por efecto de las lluvias en el altiplano, fenómeno conocido localmente como el "Invierno Boliviano". Este aumento del gasto se manifiesta en crecidas que llegan al mar y que no se aprovechan eficientemente, al no contar en la cuenca con un embalse regulador. Por el contrario, en los meses de octubre y noviembre (a veces diciembre) el gasto comienza a decrecer siendo necesario establecer turnos de riego.

El régimen hidrológico del río Lluta queda caracterizado en la estación fluviométrica de Tocontasi, que controla una cuenca de 2.617 km², distante 56 km de la desembocadura y a 1.000 m.s.n.m. El promedio anual del gasto del río en esta sección es de 2,35 m³/seg. Es necesario plantear que este promedio debe ser interpretado como un valor que proviene de caudales muy diferentes a lo largo del año, existiendo altos caudales en la época de las precipitaciones altiplánicas y valores muy bajos en períodos en que la alimentación proviene exclusivamente del derretimiento nival y de vertientes.

El flujo del río en la sección superior del valle del Bajo Lluta, estaciones de Tocontasi - Chapisca y, Panamericana observado por la DGA expresados en caudales promedios, de 80% y 90% de excedencia por temporada, se presentan en las tablas 3.2 y 3.3.

Tabla 3.2 Caudales estación Tocontasi – Chapisca

| Sequía | Período | | | | Promedio |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | Ene.-Mar. | Abr.-Jun. | Jul.-Sep. | Oct.-Dic. | |
| Promedio l/s | 3.950 | 1.790 | 1.742 | 1.382 | 2.216 |
| 80% l/s | 1.752 | 1.455 | 1.454 | 1.116 | 1.444 |
| 90% l/s | 1.357 | 1.261 | 1.370 | 1.050 | 1.260 |

Tabla 3.3 Caudales en Panamericana al 80 y 90 % de Prob.

| Sequía | Período | | | | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | Ene.-Mar. | Abr.-Jun. | Jul.-Sep. | Oct.-Dic. | Promedio |
| Promedio l/s | 3.744 | 906 | 643 | 248 | 1.385 |
| 80% l/s | 520 | 390 | 409 | 76 | 349 |
| 90% l/s | 340 | 274 | 348 | 63 | 256 |

Actualmente se dispone de un estudio que entrega antecedentes sobre la construcción de la presa Chironta en el Valle de Lluta, obra que estaría ubicada en la angostura de Chironta. Su construcción tendría numerosos impactos positivos, tales como seguridad de riego, seguridad y plusvalía para los predios ribereños, mejoramiento de caminos y otros. Por otra parte hay pocos impactos negativos y éstos son mitigables, como por ejemplo, la eventual alteración de algunos sitios arqueológicos, la pérdida de suelos, laderas y roqueríos en la zona de inundación. El volumen óptimo del embalse recomendado es de 17 Hm³. Este volumen se divide en 10,5 Hm³ para riego y 6,5 Hm³ de volumen muerto. Para esta presa de 76,5 m de altura el costo directo sería de 25,0 millones de dólares, el VAN de 4,95 millones de dólares, TIR de 11,97% y el IVAN de 0,198. Para este caso la superficie regada con 85% de seguridad alcanzaría las 3.800 ha en un escenario de doble cultivo (INGENDESA 2004)

3.2 Constituyentes químicos.

El agua del río Lluta se caracteriza por tener una alta concentración de sales y otros elementos químicos como boro, cloruros y sulfatos, factores que constituyen graves limitaciones para ciertos usos. En la tabla 3.1 se presentan los tributarios del río Lluta, en ella se aprecia el % de aporte de cada tributario al caudal del río Lluta, por otra parte, en la tabla 3.4 se presentan los valores promedios de la composición química del agua de riego en los tres sectores del valle. Se considera sector alto desde el inicio de la zona de riego, localidad de Tocontasi, hasta Molinos,

sector medio entre Molinos y Rosario y sector bajo, desde Rosario a Desembocadura.

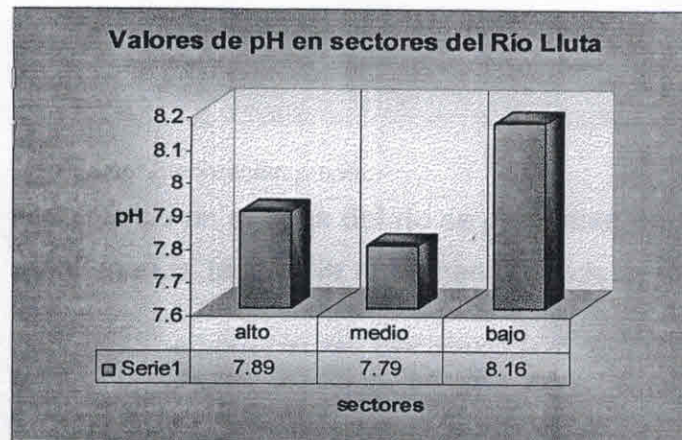
Tabla 3.4 Calidad del agua de riego en el Valle de Lluta.

| Parámetro | Sector alto | Sector medio | Sector bajo |
|------------------------|-------------|--------------|-------------|
| pH | 7,89 | 7,79 | 8,16 |
| C.E. dS/m | 2,2 | 3,22 | 5,5 |
| Ca meq/L | 6,98 | 9,75 | 20,24 |
| Mg meq/L | 2,39 | 4,41 | 8,46 |
| Na meq/L | 8,9 | 11,41 | 22,17 |
| K meq/L | 1,48 | 1,57 | 2,56 |
| CO ₃ meq/L | - | - | 1,24 |
| HCO ₃ meq/L | 1,88 | 1,65 | 1,57 |
| Cl meq/L | 12,00 | 15,05 | 31,13 |
| SO ₄ meq/L | 7,35 | 10,92 | 21,3 |
| Boro ppm | 12,43 | 13,46 | 16,00 |
| RAS | 4,11 | 4,29 | 5,85 |
| Na % | 45,02 | 42,04 | 41,65 |
| Clasificación | C3 – S1 | C4 – S2 | C4 – S2 |

Fuente: Laboratorio de suelos y aguas Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Tarapacá. Promedio de muestreo mensual (Oct, a Dic) año 2008

La Fig. 3.1 muestra los valores de pH que se encuentran en los diferentes sectores del valle, se puede apreciar que estos se hallan, según antecedentes de FAO, en rangos normales para la agricultura y que la alcalinidad del agua aumenta hacia la desembocadura del río.

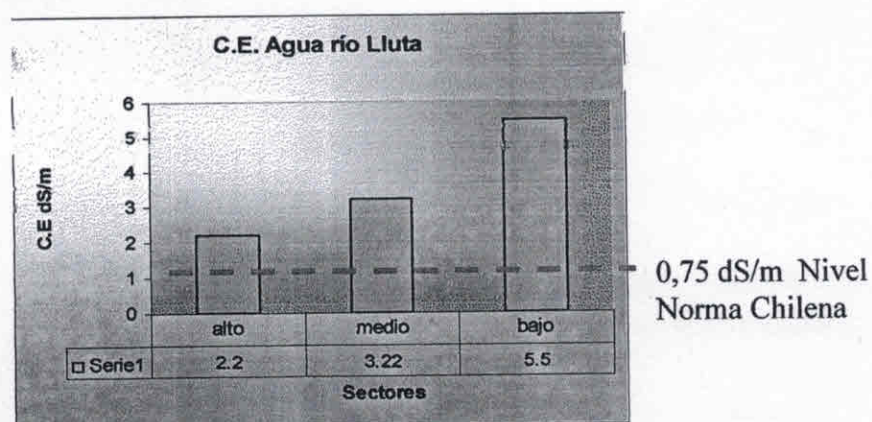
Figura 3.1 Valores de pH por sectores del Valle de Lluta



Fuente: Elaboración propia

La concentración de iones, medida a través de la Conductividad Eléctrica, muestra que el agua según la Norma Chilena, puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos. Por otra parte, existe una tendencia al aumento, Fig 3.2, desde el inicio de la zona de riego (sector alto), a la desembocadura (sector bajo), situación atribuible a la ganancia de sales durante su recorrido tanto por las aguas de drenaje como por el arrastre de las sales desde los terrenos cultivados, por cuanto el río es utilizado como colector del sistema de drenaje de los suelos, y como canal matriz al mismo tiempo

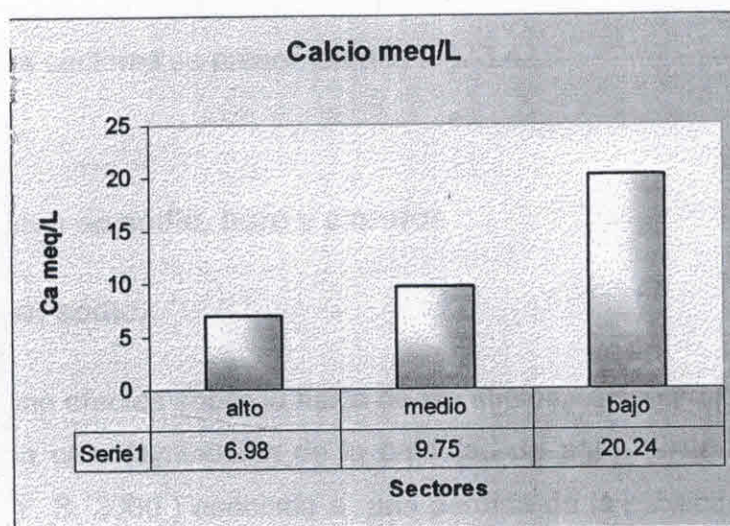
Figura 3.2 Valores de C.E del agua del Río Lluta



Fuente: Elaboración propia

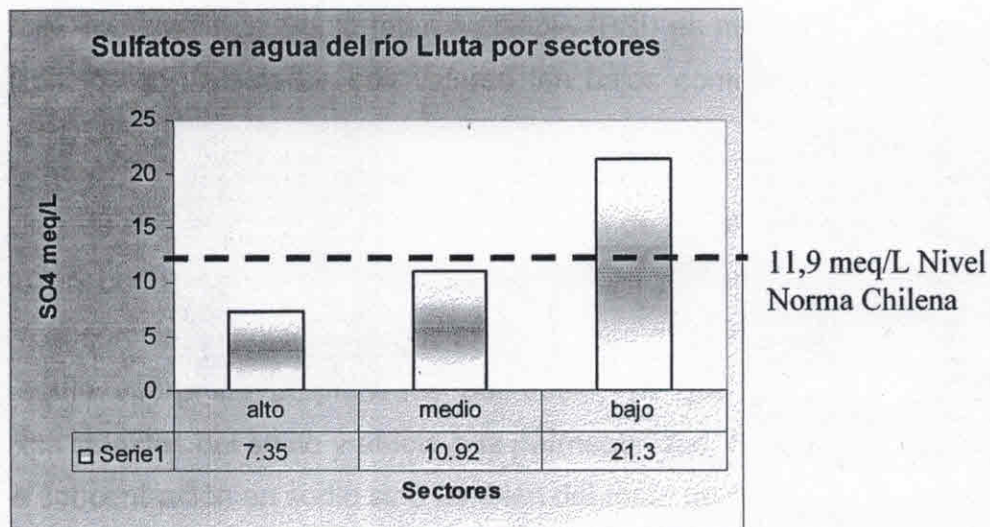
Los niveles de Calcio en el agua del río se presentan en la Fig. 3.3, en ella se aprecia que se mantienen la tendencia al aumento desde el sector alto hacia el sector bajo.

Figura 3.3 Niveles de calcio en el agua del Río Lluta



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.4 Niveles de sulfatos en el agua del Río Lluta



Fuente: Elaboración propia

El contenido de sulfatos en el agua de riego se encuentra bajo del indicado por la Norma Chilena en los sectores medio y alto, en el sector bajo la situación es grave dado que el nivel de sulfatos es 1,8 veces el indicado por la Norma Chilena: El contenido de sulfatos expresados en meq L-1 en el agua y sus variaciones en los tres sectores se presenta en la Fig. 3.4

3.2.1 Niveles tóxicos de sodio, boro y cloruros

a.- Limitaciones por sodio.

El sodio tiene efectos sobre la física de los suelos, dispersa los agregados lo cual se traduce en una disminución de la cantidad de agua disponible para los cultivos (EL-SWAIFY, S. 2000) asociada a una pérdida de la estructura, lo que se asemeja al efecto de bajos contenidos de materia orgánica, (TARKIEWICZ y NOSALEWICZ 2005) el efecto finalmente se traduce en una disminución de la velocidad de infiltración dificultando los procesos de lavado, necesarios cuando se utiliza agua con un alto contenido salino.

Se ha entendido originalmente, que los suelos presentan problemas de sodificación cuando el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) es mayor o igual a 15%, pero muchos suelos son afectados con valores tan bajos como 6 % de PSI (PIZARRO, F.1987, MARSHALL, T. et al 1996)

Para estudios de riego se ha propuesto la utilización de la RAS del extracto de saturación como un buen índice para estimar el deterioro por sodificación del suelo. La relación de absorción de sodio (RAS) es un parámetro que refleja la posible influencia del ión sodio sobre las propiedades del suelo, ya que tiene efectos dispersantes sobre los coloides del suelo y afecta a la permeabilidad. Sus efectos no dependen sólo de la concentración en sodio sino también del resto de cationes

El porcentaje de sodio de intercambio (PSI) puede ser estimado a través de la RAS del agua de riego utilizando la siguiente expresión

$$\text{PSI} = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 \text{ RAS})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ RAS})}$$

Según la ecuación anterior se calculó el Porcentaje de sodio de intercambio en los suelos en equilibrio con el agua de las tres zonas definidas para el Valle de Lluta, antecedente que se presenta en la tabla 3.5

Tabla 3.5 **Porcentaje de sodio de intercambio en los suelos de los sectores considerados**

| Sector del Valle | PSI % |
|-------------------------|--------------|
| Alto | 4.58 |
| Medio | 4.81 |
| Bajo | 6.83 |

Según el PSI estimado a partir de la calidad química del agua de riego y utilizando las pautas indicada en la literatura (PIZARRO, F.1987), los suelos de Lluta pueden ser clasificados como salinos, las sales se encuentran disueltas en la solución del suelo, afectan a los cultivos pero no a las propiedades del suelo, por otra parte, otras investigaciones indican que con valores de PSI tan bajos como 6 %, el Sodio puede causar efectos en las propiedades de los suelos (TARKIEWICZ y NOSALEWICZ 2005), de esta manera, no es posible descartar que el sodio represente un problema para los suelos en el valle de Lluta, el cual se pueda asociar con la condición de drenaje existente, y conviene tomar por tanto las precauciones necesarias al momento de activar un plan de rehabilitación de suelos, consistente en la caracterización química de cada punto a intervenir.

Altos contenidos en sodio en el suelo pueden generar graves problemas, especialmente cuando el nivel de infiltración es reducido (conductividad hidráulica mínima) hasta niveles menores de la cantidad mínima necesaria para permitir la disponibilidad y absorción de agua por la planta.

Otros problemas para los cultivos causados por un exceso de sodio son la formación de incrustaciones de semillas, malas hierbas, erosión del suelo, escasez de oxígeno y nutrientes disponibles para las plantas.

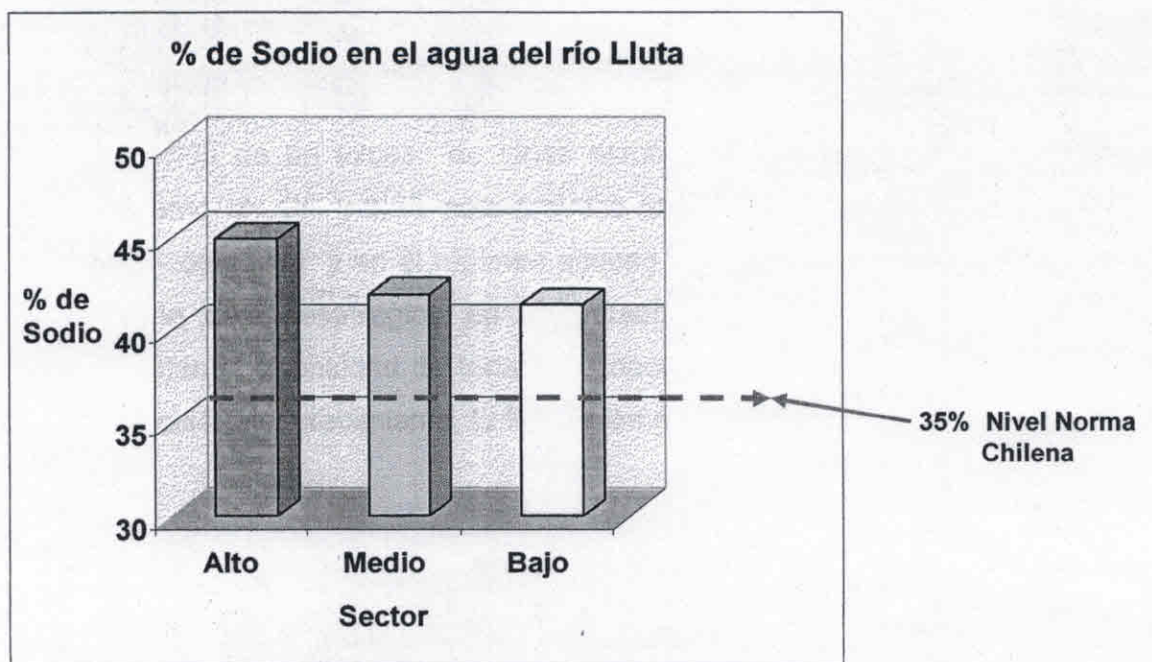
Tabla 3.6 Tolerancia de los cultivos al sodio

| Tolerancia RAS de aguas de irrigación | | RAS del agua del Río Lluta por Sector: | | | Tipo de cultivo |
|---------------------------------------|-------|--|-------|------|---|
| | | Alto | Medio | Bajo | |
| Muy sensible | 2-8 | 4,10 | 4,29 | 5,85 | Frutas, frutos de cáscara, cítricos, aguacate |
| Sensible | 8-18 | | | | Judías |
| Tolerancia moderada | 18-46 | | | | trébol, avena, arroz |

Fuente: Extraído de Australian Water Quality Guidelines for Fresh & Marine Waters (ANZECC)

$$\% \text{ Na} = \frac{\text{Na}}{\text{Na} + \text{Ca} + \text{K} + \text{Mg}} \times 100$$

Figura 3.5 Sodio porcentual en el agua del Río Lluta



El valor del Sodio porcentual el cual se indica en la Fig. 3.5, en los tres sectores del valle superan el rango establecido por la Norma Chilena de 35%, esto representa que el sodio es un problema creciente en la actividad agrícola del valle que debe ser manejado adecuadamente al iniciar mejoras de suelos, es decir cuantificar la capacidad de intercambio del suelo e identificar los cationes presentes de manera de conocer el porcentaje de sodio de intercambio, estudiar las modificaciones en las propiedades físicas del suelo, entre ellas: velocidad de infiltración, conductividad hidráulica, densidad aparente y constantes hídricas.

b. Limitaciones por cloro.

El exceso de Cloruros produce quemaduras que se inician en la punta extrema de la hoja, niveles perjudiciales a nivel de hoja son del orden de 0,3 – 0,5 % respecto a la hoja en peso seco (PIZARRO, F.1987).

La salinidad también tiene un efecto significativo en las concentraciones de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Cl^- y en la tasa de absorción de Na^+ , K^+ y Cl^- de las plantas, puntualizando que además de los efectos tóxicos de altas concentraciones de Na^+ y Cl^- en tejidos, los cambios generados por la salinidad en la absorción de nutrientes contribuyen además a la reducción del crecimiento de la planta. (BAYUELO-JIMENEZ, J. et al 2003).

Las causas del abatimiento de las plantas en los suelos salinizados son la absorción y acumulación de un exceso de iones osmóticamente activos en las células vegetales como el Cl^- y Na^+ , esto provoca un cambio apreciable en la homeostasis iónico – osmótica y en el régimen acuoso del citoplasma, lo que a su vez induce una serie de desarreglos en el metabolismo de la planta, que inevitablemente debilitan la intensidad de todas las reacciones de síntesis y que se manifiesta en la reducción del crecimiento, la formación de biomasa y el rendimiento (LAUCHLI, A.2002).

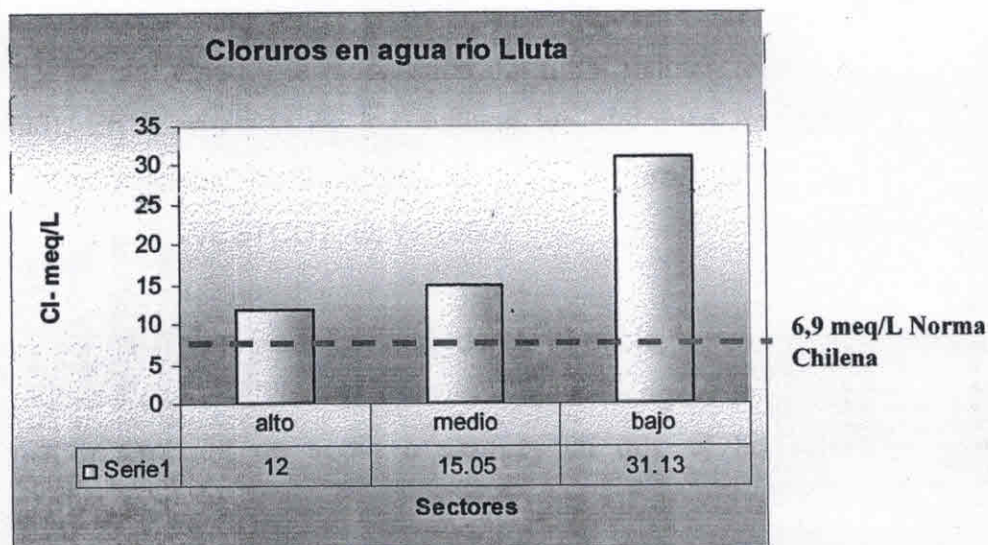
Tabla 3.6 Tolerancia de cultivos a cloruros

| Sensitivo | Cloruros (mg/L) | Cultivo afectado |
|-------------------------|-----------------|--|
| Sensible | <178 | Almendra, albaricoque, ciruela |
| Moderadamente sensible | 178-355 | Uva, pimiento, patata, tomate |
| Moderadamente tolerante | 355-710 | Alfalfa, cebada, maíz, calabacín |
| Tolerante | >710 | Coliflor, algodón, cardo, sésamo, semilla de azúcar, girasol |

Fuentes: Extraído de Australian Water Quality Guidelines for Fresh & Marine Waters (ANZECC)

Según la tabla 3.6 y la figura 3.6 sólo sería posible de usar el agua del río Lluta en el riego de los cultivos moderadamente tolerantes en el sector alto y tolerantes en los sectores medio y bajo. Por otra parte, según las directrices (FAO, 1987), los valores encontrados presentan problemas graves dado que el contenido es mayor a 10 meq L^{-1} . Según la Norma Chilena, que fija el nivel de Cl^- en el agua de riego en 200 mg L^{-1} , la situación es también grave sobre todo en la parte baja en donde el valor encontrado en el agua de $31,13 \text{ meq L}^{-1}$ es decir 1.105 mg L^{-1} , valor varias veces superior al establecido por dicha norma.

Figura 3.6 Niveles de cloruros en agua del Río Lluta



Fuente: Elaboración propia

Limitaciones por Boro.

El contenido de Boro varía con las especies, la edad y los órganos analizados, de tal manera que los síntomas de toxicidad aparecerán por encima de 200 μg B/ml. Estos síntomas coinciden en la mayoría de los cultivos con necrosis progresiva de las hojas que comienza por un amarillamiento de los bordes de las hojas, continúa entre los nervios laterales hacia la nervadura central y termina con un oscurecimiento y la posterior necrosis. Las monocotiledóneas muestran necrosis en las puntas, mientras que en las dicotiledóneas la necrosis es tanto marginal como apical. Existen excepciones, como la cebada, en donde la necrosis aparece primero en forma de manchas en la sección terminal de la hoja y finalmente las manchas necróticas se funden.

El boro es un elemento esencial en la nutrición mineral de las plantas. Es absorbido por las raíces como ácido bórico neutro ($\text{B}[\text{OH}]_3$) y también como borato ($\text{B}[\text{OH}]_4^-$). La absorción se produce por tres mecanismos, difusión pasiva,

transporte facilitado a través de canales proteicos y transporte activo por proteínas específicas (LAUCHLI, A.2002, DANNELE, F. et al 2002, BROWN, P. H. et al 2002). Forma parte de la pared celular y complejos estables en la membrana plasmática, y estimula la germinación del polen y la elongación del tubo polínico (KOSMAS, C. y MOUSTAKAS 1990). En la mayoría de los cultivos los síntomas de toxicidad se presentan cuando la concentración de boro en las hojas supera 250 a 300 mg Kg⁻¹ (peso seco) (AYERS, R. S. y WESTCOT, D. W 1989).

El exceso de boro, puede ser lixiviado desde el suelo, a través de lavados, para lo cual se requiere una cantidad tres veces mayor de agua que la necesaria para lixiviar la misma cantidad de sodio o cloruro, ya que el boro se mueve lentamente con la solución suelo al encontrarse altamente adsorbido a los minerales de arcilla, por ello, además se requiere mayor tiempo de lavado (AYERS, R. S. y WESTCOT, D.W 1989, HAVLIN, J. et al 1999).

Según (ALBORNOZ et al. 2007), el rendimiento en tomate regado con agua con sales pero bajo contenido de boro (0,7 ppm), fue superior al regado con agua con sales y nivel alto de boro (7 ppm). Esto permite concluir que un factor limitante y de alta relevancia para la producción de los cultivos en el valle de Lluta, es el alto contenido de boro en el agua de riego, lo que permite situar al valle en un área del mayor interés para el estudio de esta temática.

En la tabla 3.7, se presentan la tolerancia de diferentes cultivos a la concentración de boro. Se puede apreciar que el espárrago es el único cultivo que podría resistir los niveles de boro existentes en el agua de riego, sin que se vean afectados los rendimientos. Sin embargo, se puede apreciar en el Valle de Lluta que agricultores emprendedores a través de la incorporación de algunas mejoras en el sistema de riego , manejo de la fertilización, incorporación de materia orgánica, han obtenido rendimientos en tomate de 80 a 120 ton ha⁻¹, los que resultan económicamente interesantes; estos resultados demuestran la importancia que se le debe asignar al estudio del manejo de la salinidad bajo las condiciones del Valle de Lluta, dado que bajo las pautas existentes respecto de la respuesta de los vegetales

a la salinidad, y al parecer producto de los manejos realizados, en este valle los resultados productivos no seguirían la misma tendencia de rangos definidos en la literatura para evaluar el nivel de daño, dado que este sería inferior a lo señalado por FAO bajo las condiciones de terreno, lo cual hace necesario definir adecuadamente las directrices del manejo de la salinidad bajo las condiciones del Valle de Lluta.

Es fundamental disponer de antecedentes técnicos que permitan manejar los altos niveles de boro en el agua de riego y en el suelo. La eliminación del contenido de boro en el agua de riego es una alternativa que hoy es técnicamente factible, su implementación dependerá de los niveles de producción que se puedan alcanzar con los niveles de salinidad total del agua tratada.

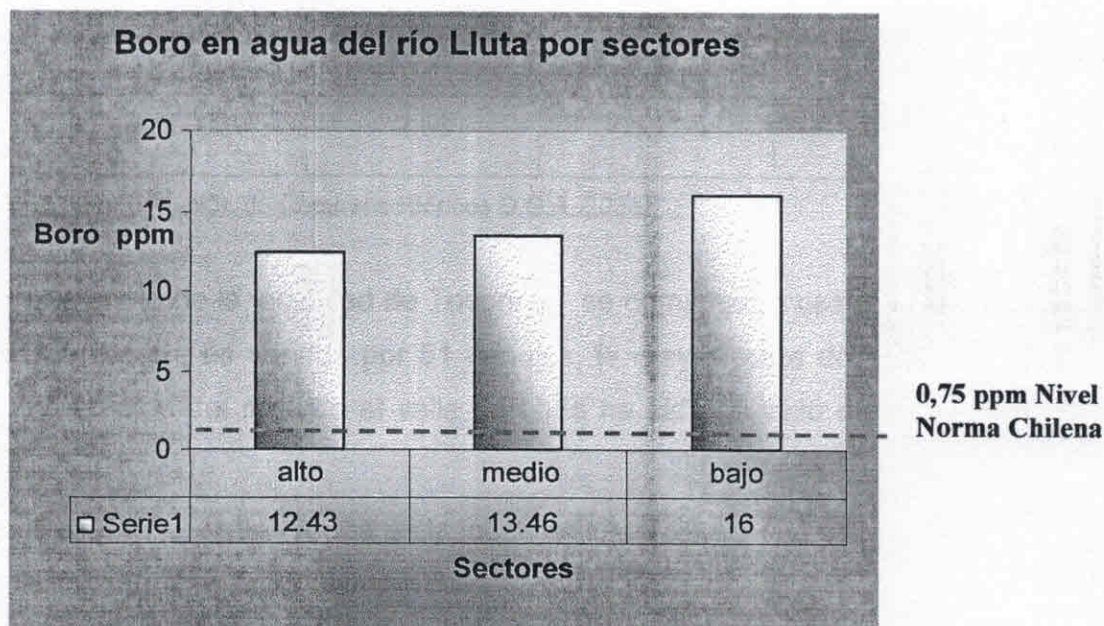
Tabla 3.7 Tolerancia al boro

| Tolerancia | Concentración de boro en el agua contenida en el suelo (mg/L) | Cultivo agrícola |
|--------------------------|---|--|
| Muy sensible | <0.5 | Zarzamora |
| Sensible | 0.5-1.0 | Melocotón, cereza, ciruela, uva, guisante, cebolla, ajo, patata dulce, trigo, cebada, girasol, sésamo, fresa |
| Moderadamente Sensible | 1.0-2.0 | Pimiento rojo, guisante, zanahoria, rábano, patata, calabacín |
| Moderadamente tolerantes | 2,0 – 4,0 | Lechuga, Repollo, Apio, Maíz, Alcachofa, Melón |
| Tolerantes | 4,0 – 6,0 | Tomate, Alfalfa, Betarraga |
| Muy Tolerantes | 6,0 - 15 | Algodón, Espárrago |

Fuentes: Extraído de Australian Water Quality Guidelines for Fresh & Marine Waters (ANZECC)

En la Fig. 3.7 se presentan los valores de boro en agua del río Lluta en los tres sectores considerados, se puede apreciar la misma tendencia al aumento desde el sector alto al bajo.

Figura 3.7 **Contenido de boro en agua el río Lluta**



Fuente: Elaboración propia

3.3 Uso del agua por la agricultura

3.3.1 Infraestructura de riego.

La superficie total agrícola de la zona denominada " Valle del Bajo Lluta " ubicada a lo largo de un tramo de 65 km. entre Vilacollo y la desembocadura , es de 7.606 ha, (DGA 2004), de las cuales normalmente se cultivan sólo 2.784 ha equivalente al 36,6 % atendiendo a las condiciones de drenaje de los suelos (JICA 1995), reporta que 1.248 ha no puede ser cultivada por falta de agua, situación que se contrapone con los caudales del río que llegan al mar a lo largo del año y especialmente en la época estival, antecedentes al respecto se presentan en la tabla 3.8

Tabla 3.8 Caudales promedios en Panamericana.

| Caudales aforados en estación Panamericana $m^3 s^{-1}$ | | | | |
|---|------|------|------|------|
| Año | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| Caudal | 0.08 | 2.56 | 1.22 | 0.89 |

Fuente: (Centro de Información de Recursos Hídricos D.G.A. 2008)

Aguas abajo de la localidad de Tocontasi se comienza a usar el agua para el riego, el área regada es servida por 51 canales, la mayor parte de ellos son de tierra. Para los efectos del regadío el valle de Lluta ha sido dividido en 6 sectores, denominados:

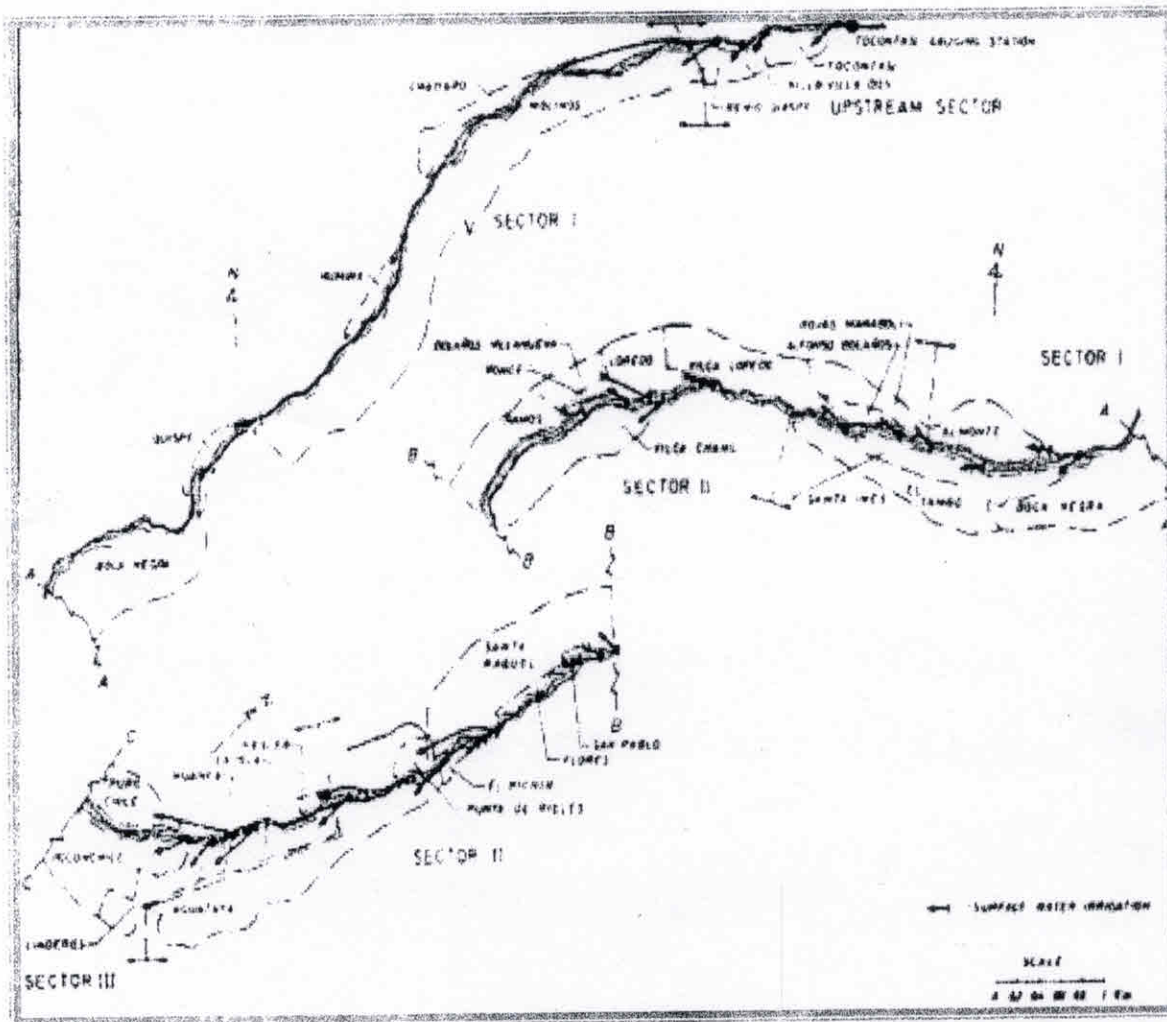
- Sector alto, aguas arriba de la localidad de Molinos
- Sector uno, entre Molinos y Bocanegra
- Sector dos, entre Bocanegra y Poconchile
- Sector tres, entre Poconchile y Canales Beyzan
- Sector cuatro, entre Beyzan y Canales Bravo
- Sector cinco, entre Canales Bravo y Canal de Santiago Castillo.

Los sectores indicados a su vez se subdividen en 80 sub-sectores, cada uno de estos subsectores es abastecido de agua de río mediante propia bocatoma independiente de irrigación y su red de canales. Esta sectorización se presenta en la Fig. 3.9 -A y 3.9 - B.

Existe una Junta de Vigilancia en formación del Río Lluta la que se encarga de la administración de las 3.039,19 acciones aguas y el control de las bocatomas del río. Al interior de los canales, son los propios agricultores los que acuerdan la distribución del agua. .

Entre los meses de Octubre a Diciembre, el agua es distribuida por turnos cada 7 días cuando el caudal del río Lluta es escaso, el resto del año se utiliza un sistema abierto que entrega un caudal permanente a cada agricultor.

Figura 3.9 A Sectores de Riego I y II



El sector I se encuentra en la parte superior del valle, en la localidad de Chapisca. El sector II, inmediatamente aguas arriba del puente de Ferrocarriles. El sector III, entre puente de Ferrocarriles y el puente Chacabuco. El sector IV A, entre el puente Chacabuco y la localidad Sascapa; por último, el sector V se extiende entre Valle Hermoso y la desembocadura en el mar del Río de LLuta (CNR 2001).

El valle no cuenta con una infraestructura de regulación de las aguas de riego salvo el Tranque Sascapa el que está ubicado en el Km. 12 del valle de Lluta, a una altitud de 300 m.s.n.m, 18° 24' Latitud Sur, 70°, 10' Longitud Oeste. Este Tranque es un regulador nocturno, con una capacidad de almacenamiento de 18.000 m³, construido en el año 1969 con el objeto de proporcionar riego regulado a los ex- asentamientos Porvenir y El Morro, con un total de 427 acciones de agua correspondientes a los regantes del canal Sascapa.

La Comunidad de Regantes Sascapa dispone del 15,61% de las acciones de agua de la "Organización de Regantes del Río Lluta", comprende una superficie de 663,1 ha. Desde su puesta en operación por problemas de infiltración se mantuvo fuera de servicio no satisfaciendo así la finalidad por la cual se construyó. Ante la necesidad imperiosa de enmendar esta situación, la Comunidad de Aguas Canal Sascapa presentó el proyecto Reparación del Tranque Sascapa al concurso N° 51 de la Comisión Nacional de Riego Ley N° 18.450.

3.3.2 Demanda de agua.

JICA (1995) determinó la demanda de cada uno de los sectores de riego del valle, esta demanda representa un caudal de 2,04 m³ s⁻¹, lo cual se presenta en el Tabla 3.9

Tabla 3.9 Demanda de agua por sectores de riego ($10^3\text{m}^3/\text{año}$)

| Sector | Maíz | Vegetales | Forraje | Total |
|---------|----------|-----------|----------|----------|
| Alto | 1.983.9 | 184.8 | 1.980.8 | 4.149.4 |
| Primero | 2.089.5 | 577.4 | 4.707.6 | 7.374.5 |
| Segundo | 1.528.3 | 1.311.2 | 4.118.2 | 6.957.7 |
| Tercero | 8.027.3 | 1.873.2 | 4.065.1 | 13.965.6 |
| Cuarto | 20.178.8 | 4.641.9 | 1.848.0 | 26.668.7 |
| Quinto | 2.318.5 | 1.724.4 | 1.439.1 | 5.482.0 |
| Total | 36.126.4 | 10.312.8 | 18.158.7 | 64.597.9 |

Fuente: JICA (1995)

Por otra parte JICA también estimó que el agua realmente consumida en riego en el Valle de Lluta entre Vilacollo y la desembocadura es de $29.897 \times 10^3 \text{m}^3/\text{año}$, lo cual expresado en caudal continuo es de 951 L/s; esto se presenta en el Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Consumo real de agua en el Valle de Lluta ($10^3\text{m}^3/\text{año}$)

| Tipo de cultivo | Consumo real de agua ($10^3\text{m}^3/\text{año}$) |
|-----------------|--|
| Maíz | 14.451 |
| Hortalizas | 4.641 |
| Forraje | 10.895 |
| Total | 29.987 (= 951 L/s) |

Fuente: JAICA (1995)

3.3.3 Actividad productiva

El bajo rendimiento del maíz local, comparado con variedades mejoradas que se cultivan en el valle de Azapa, cultivo de alfalfa con producciones irregulares, ajo y cebolla de bajo rendimiento y flores de baja calidad y poco desarrollo; ofrecen un cuadro susceptible de mejorar a través de diversos medios siendo, la introducción y adaptación de nuevas variedades de cultivos, mejoramiento de

suelos, perfeccionamiento de las técnicas agronómicas, algunas de las posibilidades que deben ser estudiadas.

Actualmente, algunos agricultores del valle han introducido el cultivo del tomate bajo riego por goteo (cinta). Los frutos cosechados son de buena calidad y rendimiento que superan los 40 toneladas por hectárea reportadas por Albornoz et al. (2007). El pimiento es otro cultivo en que los agricultores han realizado pruebas, los resultados son preliminares, y no permiten hacer un diagnóstico respecto a su comportamiento productivo; otros cultivos explorados han sido, lechuga, brócoli, y repollo.

Los rendimientos posibles de alcanzar con los nuevos cultivos en el valle de Lluta, dada la condición salina tanto del agua como de los suelos son inferiores a los que se logran en Azapa con similar tecnología. Los antecedentes recopilados en cuanto al rendimiento en tomate le generan a los agricultores involucrados, mejores utilidades que las que les permiten los cultivos tradicionales como maíz, alfalfa y cebolla.

La actividad agrícola cuenta con asistencia crediticia de la banca privada, del Banco del Estado, y de instituciones fiscales como la Corporación de Fomento (CORFO), Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI).

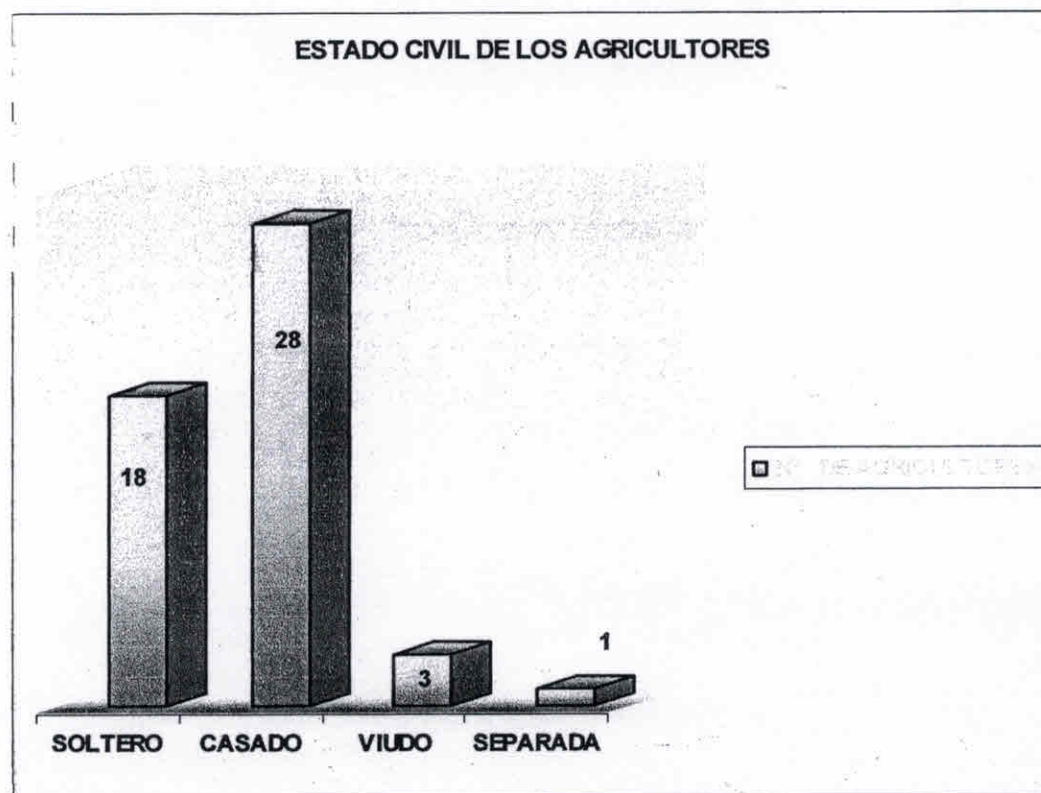
Para productores de hasta 12 ha básicas de riego (HRB), INDAP destina créditos individuales a corto y largo plazo a pequeños productores que no logran desarrollarse como empresarios autosuficientes por la carencia de conocimientos técnicos y de manejo empresarial; también otorga crédito a organizaciones agrícolas, siendo éstas cooperativas, asociaciones, etc. Asimismo desde el año 1987, esta institución desarrolla un Programa de Transferencia Tecnológica orientado a traspasar conocimientos de nuevas tecnologías en el manejo de cultivos, comercialización de los productos, organización grupal, a gran parte de los agricultores anteriormente mencionados.

Los autores del estudio de (INGENDESA 1994), recomendaron no cultivar hortalizas de hoja por la posible concentración de arsénico en los tejidos comestibles, debido a que este elemento sería transferido a los seres humanos; por lo cual en el estudio se aconsejó la producción de frutos, dado que éstos se ven menos afectados por la sobrecarga, como asimismo se sugirió que las especies a utilizar deberían ser adaptadas a la condición local de suelo. A nuestro juicio y sobre la base de que el arsénico tiene una baja movilidad vía xilema razón por la cual se acumula en las raíces, se debe recomendar no cultivar aquellas hortalizas en las cuales el producto que se comercializa es la raíz como el caso de la zanahoria o la betarraga. No obstante, los posibles efectos que represente el arsénico para la salud y la producción de vegetales en el valle de Lluta, deben ser validados a través de la implementación de los experimentos necesarios bajo las condiciones particulares de este valle

4. Situación actual de la agricultura en el valle de Lluta

A través de una encuesta que fue aplicada a 50 agricultores del Valle de Lluta, que representan una superficie de 448,46 ha, se consiguieron antecedentes sobre los agricultores, su estado civil, escolaridad, tiempo que han permanecido en la actividad agrícola, el número de personas que dependen de ella, tipo de organización a la que pertenecen, superficie encuestada, superficie de los predios, asistencia técnica recibida, aspectos de la innovación, cómo toman sus decisiones, importancia del embalse, etc., de lo cual dan cuenta las figuras 4.2.1 a la 4.2.28.

Figura 4.2.1 Estado civil de los agricultores



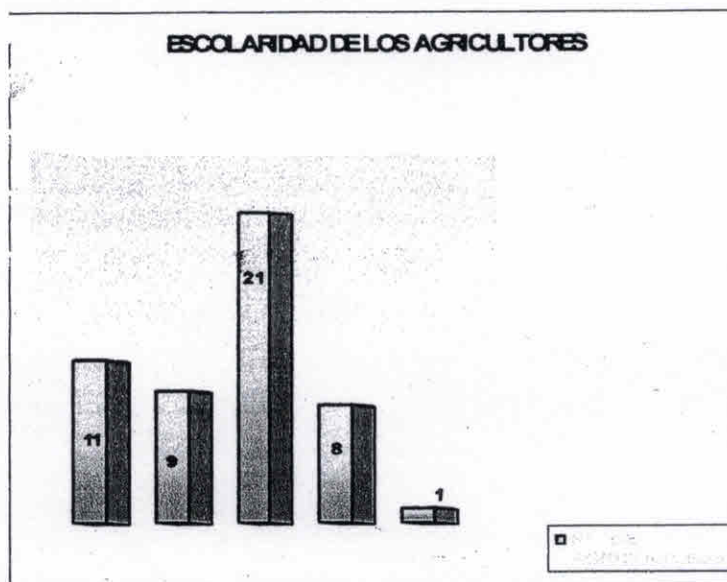
Fuente. Elaboración propia

Se observa que el 56 % de los encuestados es casado y debe mantener una familia, propiciando un mayor arraigo a las situación geográfica, en tanto el 36 % es soltero, con lo cual podríamos inferir que existe una alta probabilidad de que la población actualmente existente no abandone la actividad, de contar con la asesoría y los incentivos adecuados que orienten el despegue de la agricultura en el valle de Lluta, para lo cual necesariamente se deben considerar planes al mediano y largo plazo, los cuales aseguren los recursos hídricos tanto en calidad como cantidad, y políticas agrícolas que les permitan competir con productos vegetales provenientes del Perú, entre otras .

Se observa en la Figura 4.2.2 que el 42 % de los encuestados tiene enseñanza media completa , situación ventajosa desde el punto de vista de las posibilidades de internalizar nuevos conocimientos prácticos impartidos a través de cursos de capacitación que se enmarquen en un plan de extensión agrícola

consistente y que permita desarrollar una agricultura tecnificada, con generación de productos de buena calidad, competitivos, y de esa manera enfrentar la problemática de la salinidad existente en el valle

Figura 4.2.2 **Escolaridad de los agricultores**



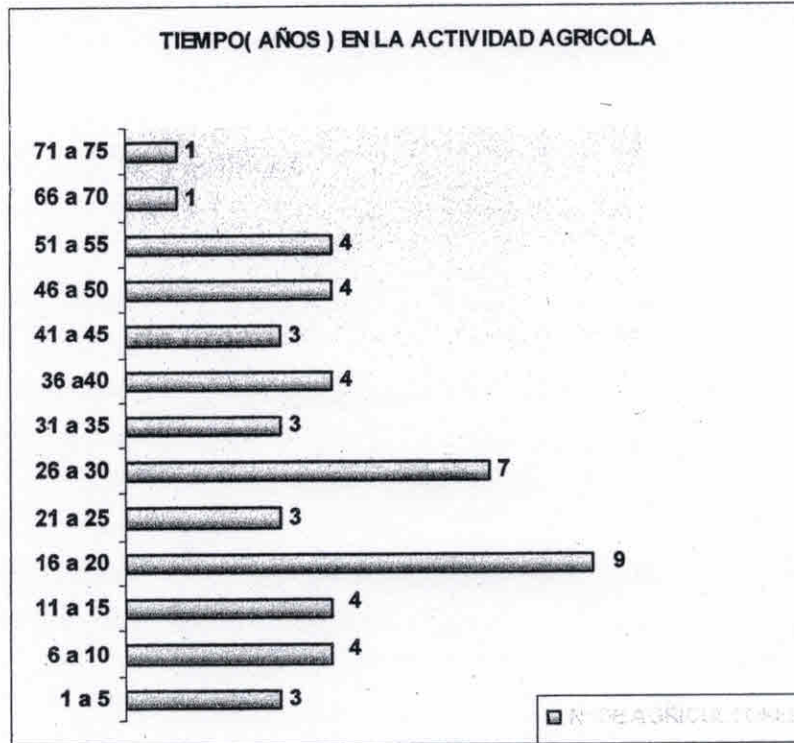
Abreviaturas Fig.4.2.2

| | | | |
|--------|-----------------------------|--------|----------------------------|
| E.B.C. | Enseñanza básica completa | E.M.C. | Enseñanza media completa |
| E.B.I. | Enseñanza básica incompleta | E.M.I. | Enseñanza media incompleta |

Fuente: Elaboración propia

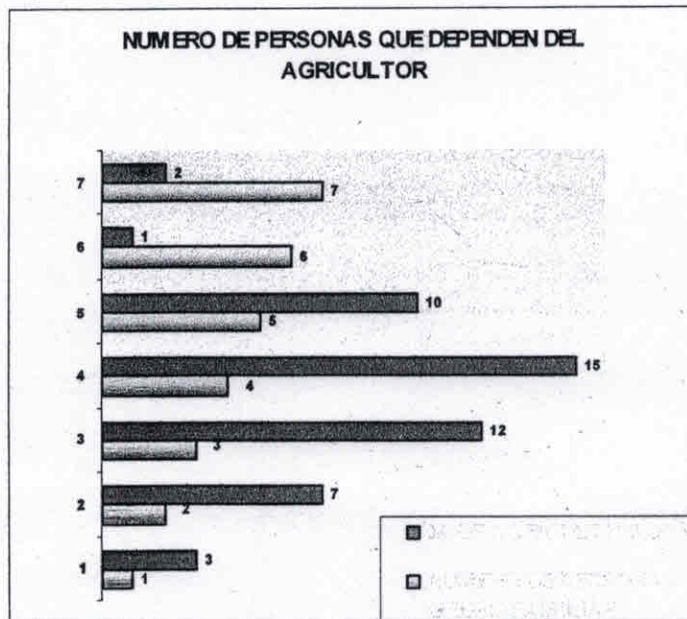
La Figura 4.2.3 muestra que el tiempo que los agricultores se han mantenido en la actividad agrícola generalmente fluctúa entre los 10 y 12 años, es por ello, que el 18% de los encuestados sin tener una edad avanzada llevan entre 16 a 20 años trabajando en la agricultura. Un 6% corresponden a agricultores que han cumplido una etapa laboral en otras áreas y han tomado la decisión de dedicarse del todo a la actividad agrícola.

Figura 4.2.3 Tiempo (años) en la actividad agrícola



Fuente: Elaboración propia

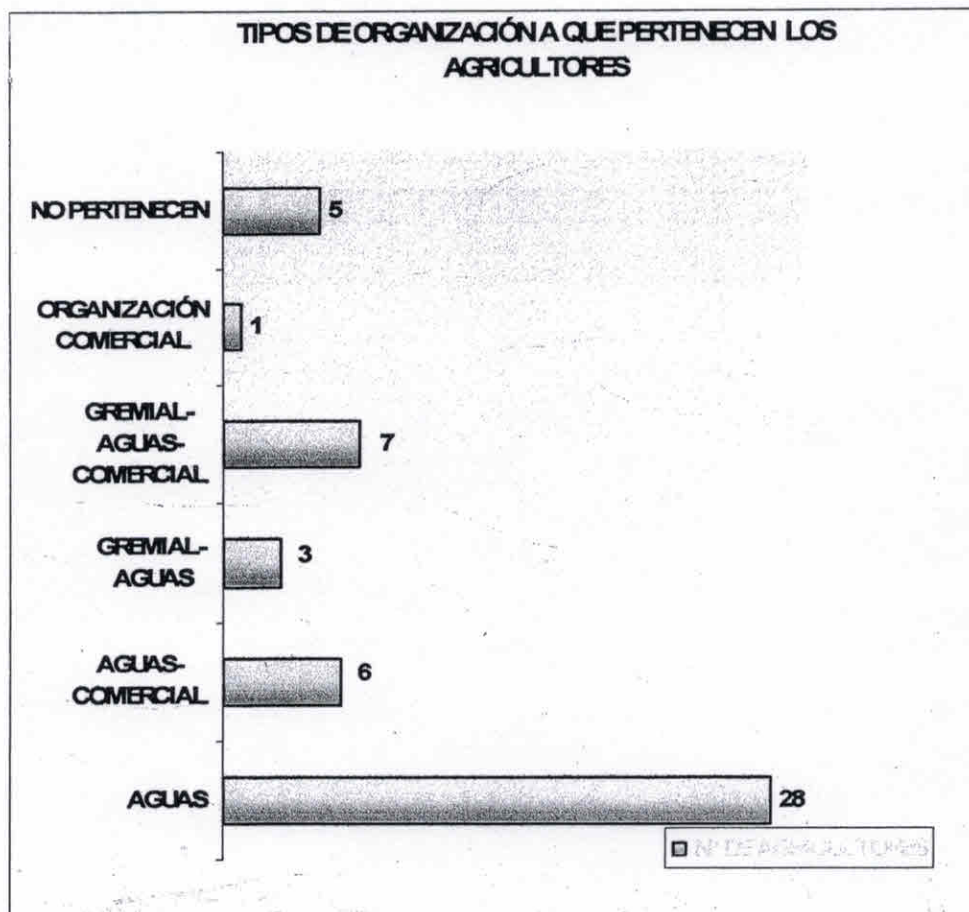
Figura 4.2.4 Número de personas que dependen del agricultor



Fuente: Elaboración propia

El principal grupo familiar en el valle está conformado por 4 personas, lo que representa un 30% de los agricultores, estos grupos familiares están conformados por los padres e hijos. En aquellos grupos con más de 4 miembros, los integran familiares directos y políticos.

Figura 4.2.5 Tipos de organización a que pertenecen los agricultores



Abreviaturas Fig.5.2.5

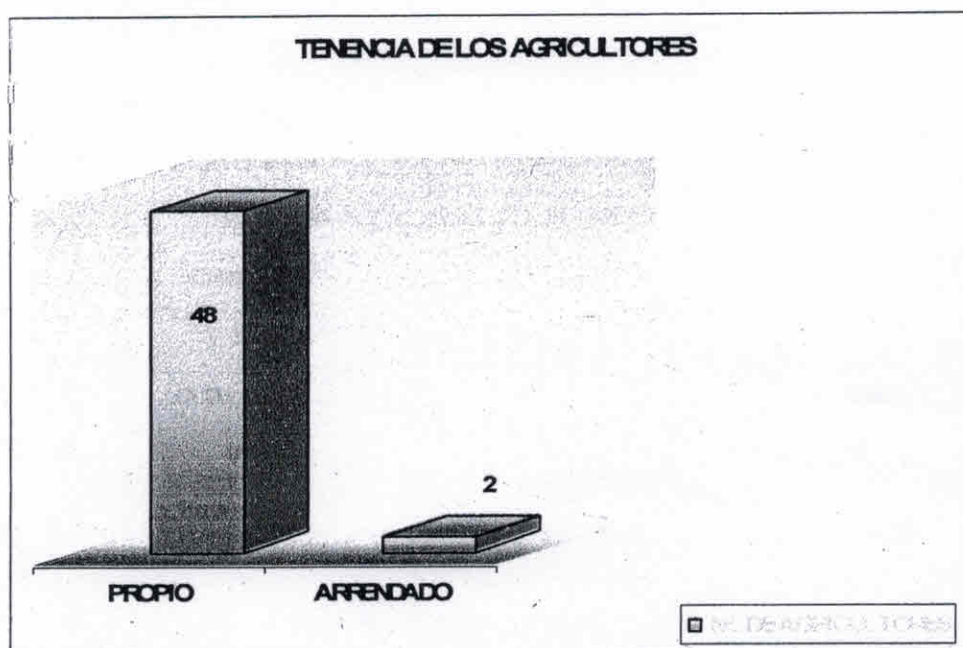
| | | | |
|------|-----------|-------|---------|
| COM. | Comercial | GREM. | Gremial |
|------|-----------|-------|---------|

Fuente. Elaboración propia

Los agricultores del valle pertenecen a la Asociación Gremial de Agricultores del Valle de Lluta, por tal motivo en esta consulta se excluyó esta

organización. El 56% de los agricultores pertenece solamente a la Junta de Vigilancia del Río Lluta, un 32% pertenece a esta organización y a otras de giro gremial y comercial. Entre las primeras se menciona a ASOAGRO y dentro de las empresas comerciales está principalmente Agrícola del Norte. Un 10% no están en organizaciones de ningún tipo, algunos tienen acceso a uso del agua a través de familiares que son socios del organismo administrador del recurso hídrico y en una significativa minoría son arrendatarios.

Figura 4.2.6 Tenencia de la tierra

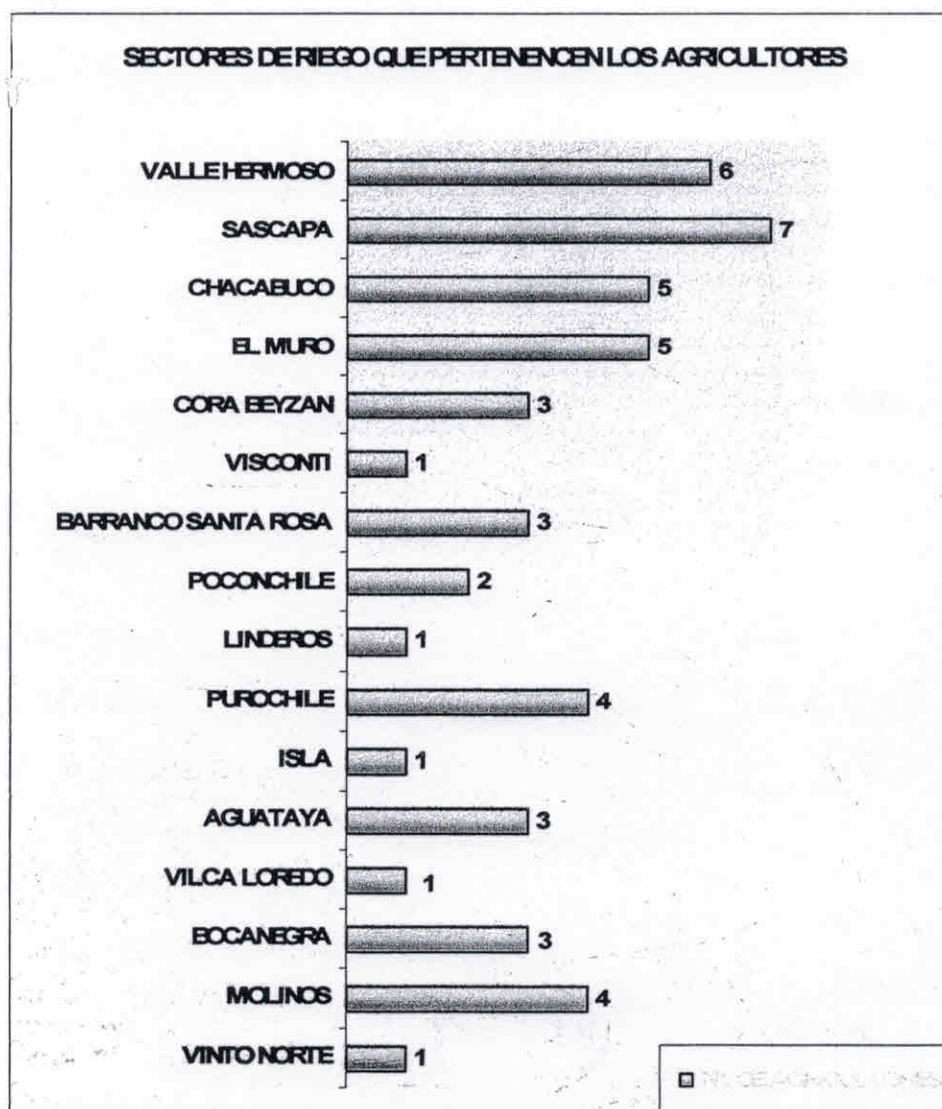


Fuente: Elaboración propia

El 96% de los encuestados declaró ser propietario del predio, esto respalda la permanencia en la actividad por tanto asegura en un alto grado la aplicación de los nuevos conocimientos que se le puedan entregar al sector productivo, como al mismo tiempo justifica en alguna medida la ejecución de mejoras que permitan una mejor utilización de los recursos actualmente existentes en el valle.

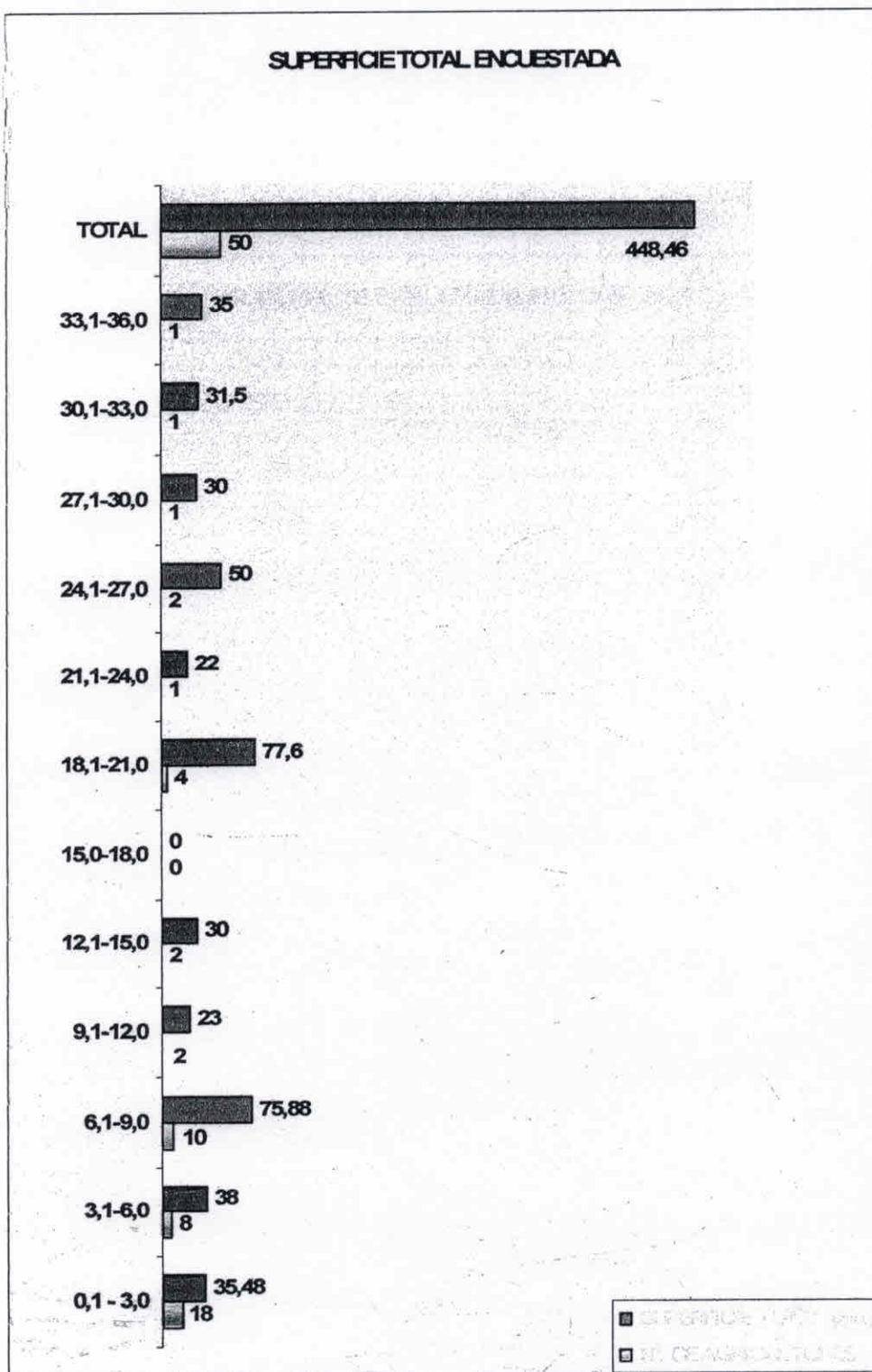
En la Figura 4.2.7 se observa una distribución de los agricultores encuestados en los tres sectores del valle es decir parte alta media y baja, siendo mayor el número de agricultores accionistas de la Junta de Vigilancia del Río Lluta, pertenecientes a la parte baja del valle, lo cual está íntimamente relacionado con la magnitud del problema salino, dado que es mayor la cantidad de personas afectadas por la mayor concentración de salinidad en esa área.

Figura 4.2.7 Sectores de riego a los que pertenecen los agricultores



Fuente: Elaboración propia

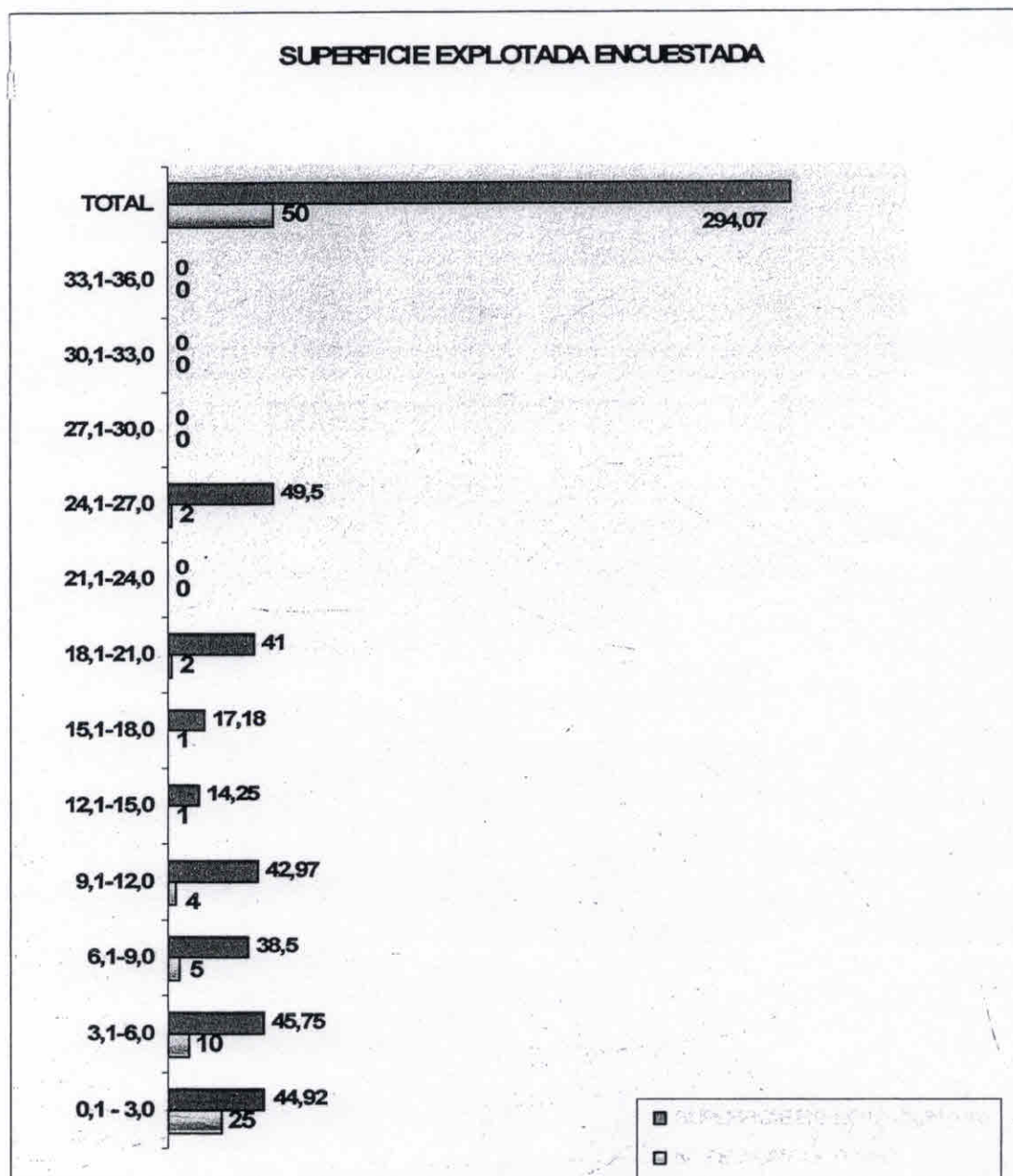
Figura 4.2.8 Superficie total encuestada



Fuente: Elaboración propia

La superficie total encuestada fue de 448,46 ha , se observa en la figura 4.2.8 que el tamaño de la propiedad más recurrente está en el rango de 0,1 a 3,0 ha, lo cual caracteriza la actividad agrícola local como una pequeña agricultura o agricultura familiar campesina.

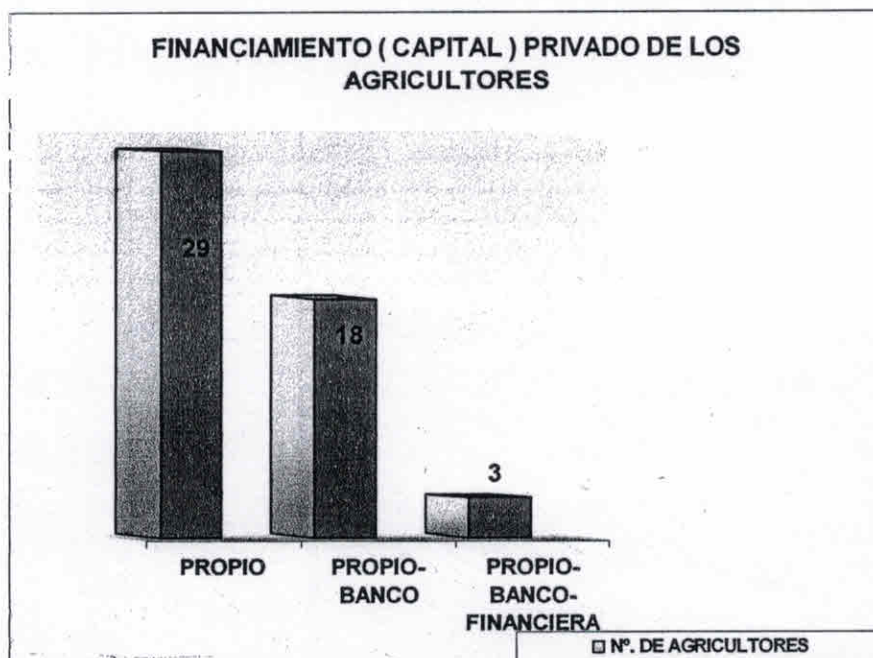
Figura 4.2.9 Superficie explotada encuestada



Fuente: Elaboración propia

La figura 4.2.10 muestra que el 65,57 % de la superficie física de las explotaciones encuestadas se encuentra bajo cultivo, del 34,33 % de la superficie que no se cultiva actualmente, se aprecia que mejorando los recursos económicos de los agricultores esta cifra disminuiría, incrementándose la superficie cultivable.

Figura 4.2.10 **Financiamiento (capital) privado de los agricultores**

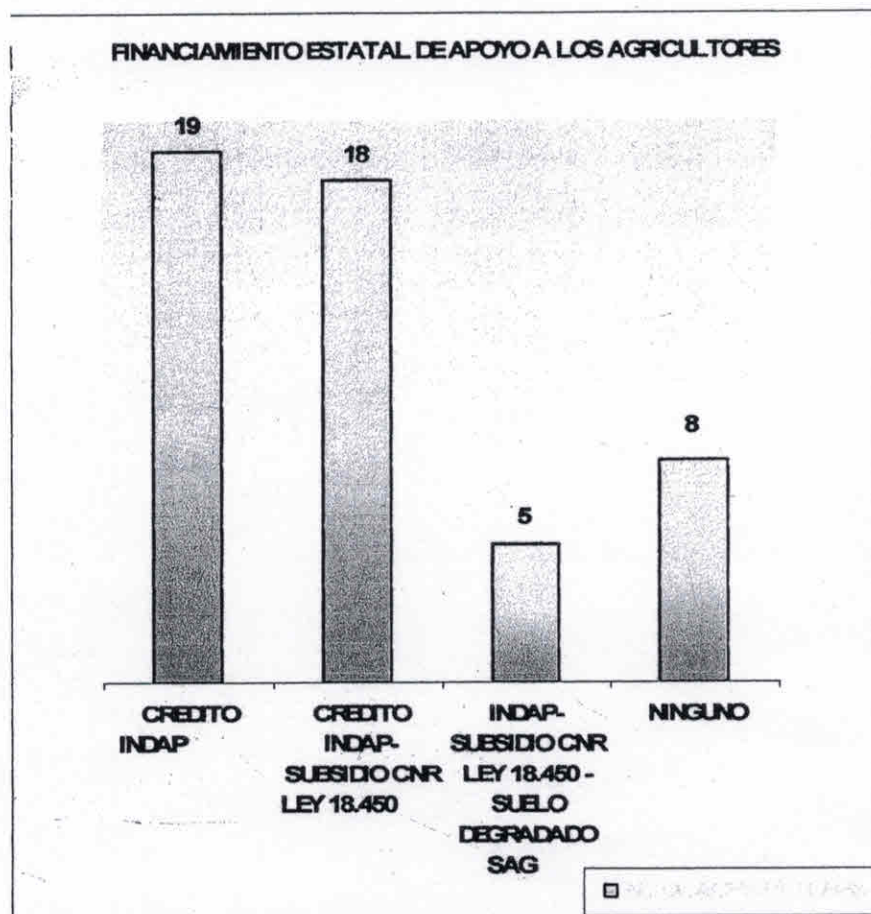


Fuente. Elaboración propia

El 58% de los encuestados trabaja con capital propio, en tanto el 42 % restante recurre a una fuente de financiamiento externa privada, como es el caso de bancos privados y financieras.

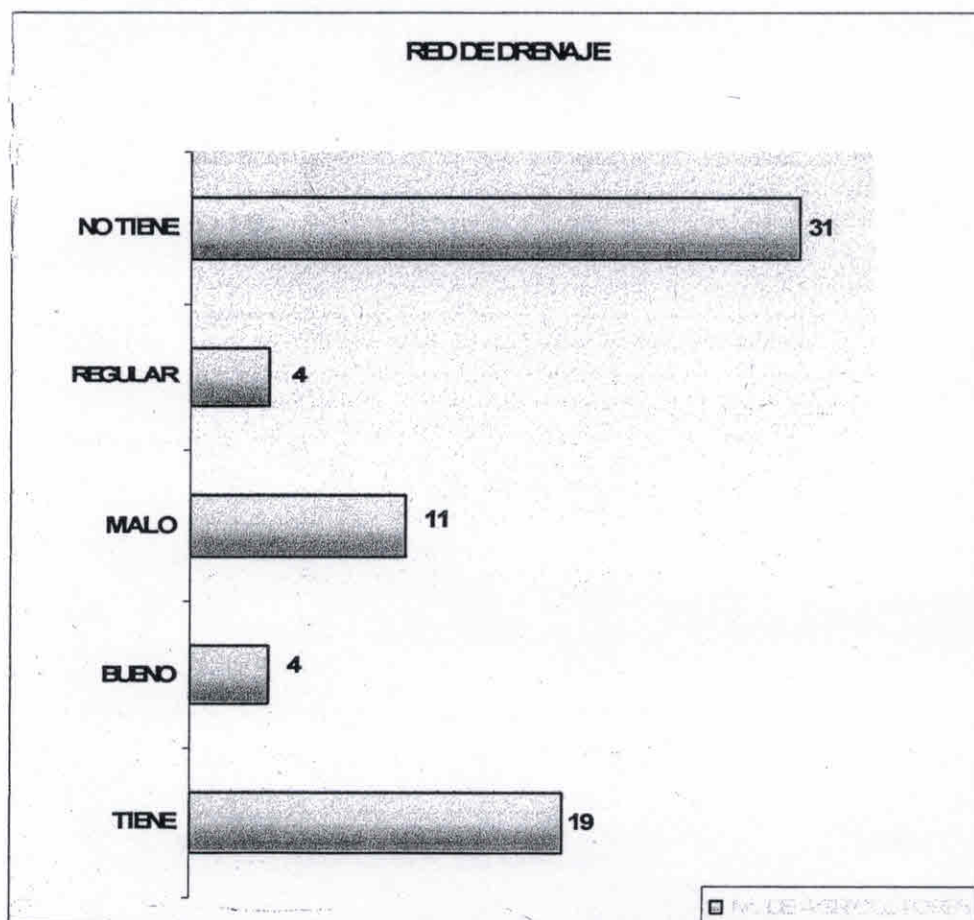
Figura 4.2.11

Financiamiento Estatal de Apoyo a los Agricultores



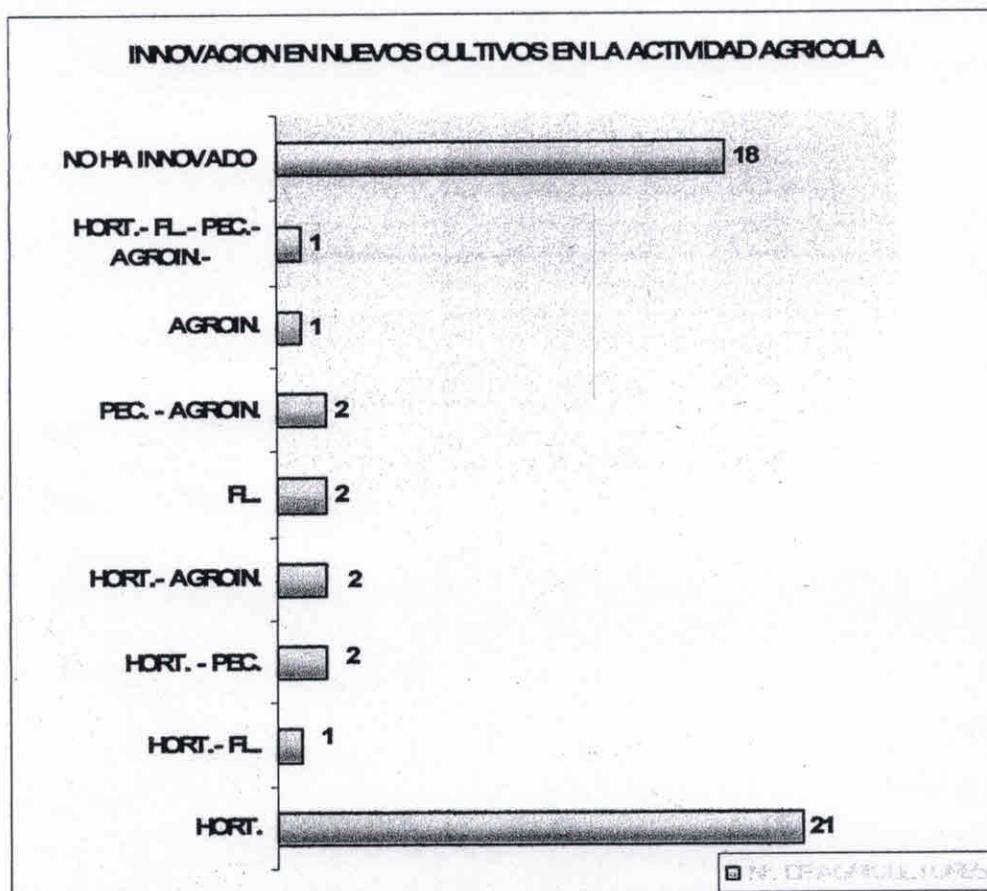
Fuente: Elaboración propia

Como fuente de financiamiento estatal se destacan el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y la Comisión Nacional de Riego (CNR) a través de subsidios a las obras de riego y drenaje.

Figura 4.2.12 Existencia de red de drenaje

El 62% de los agricultores no cuenta con red de drenaje, dentro del 38% que tiene un sistema de drenaje en su predio solo el 8% lo tiene en buen estado. Atendiendo al efecto que tiene en los suelos un drenaje deficiente, toma alta importancia la instalación y reconstrucción en el valle de un sistema de drenaje conducente a disminuir el nivel de sales en los suelos.

Figura 4.2.13 Innovación en nuevos cultivos en la actividad agrícola



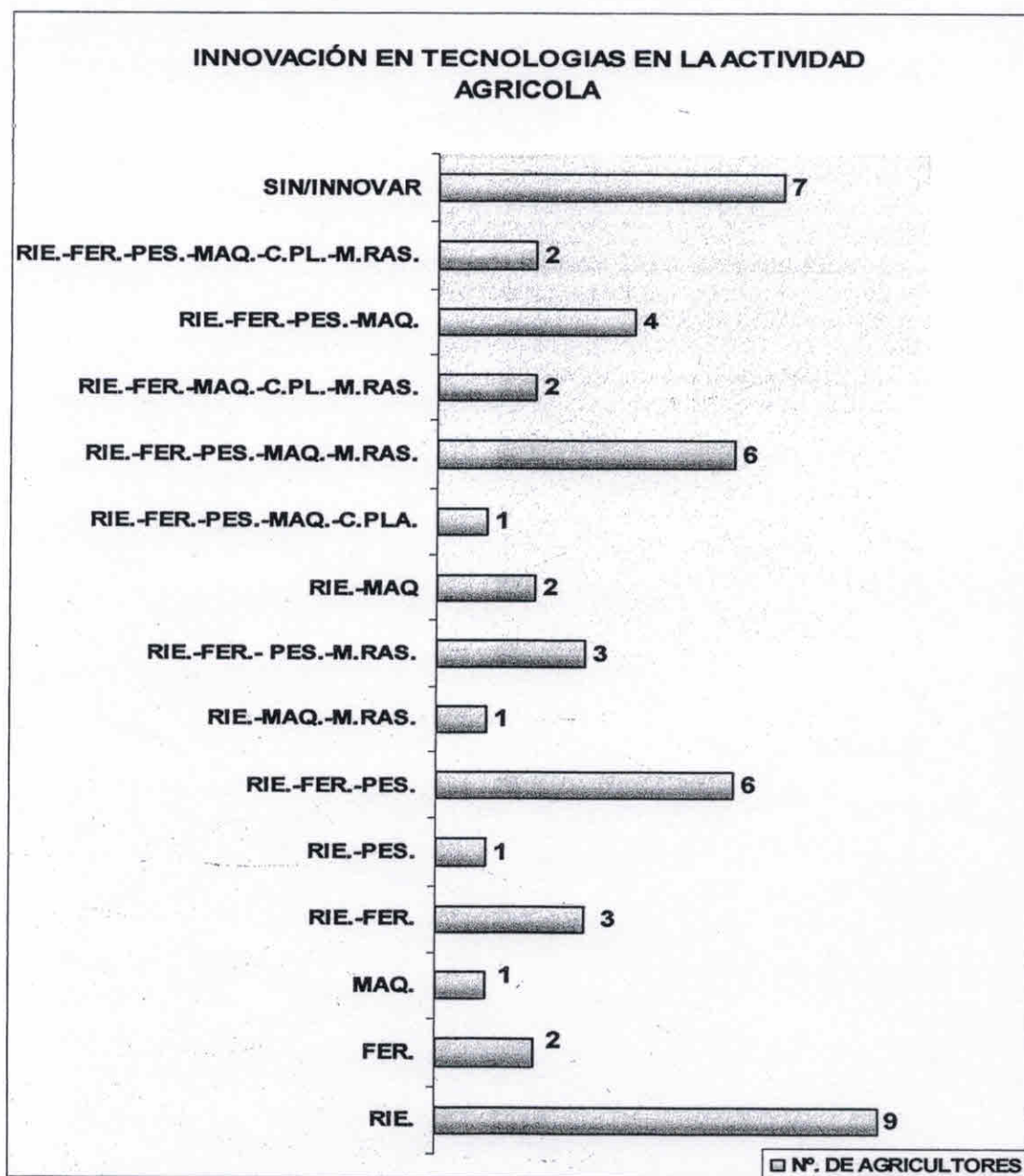
Abreviaturas fig. 4.2.13

| | | | |
|-------|------------|---------|---------------|
| HORT. | Hortalizas | PEC. | Pecuario |
| FL. | Flores | AGROIN. | Agroindustria |

Fuente. Elaboración propia

El 36% de los agricultores encuestados no ha innovado en el establecimiento de nuevos cultivos últimamente y continúa con cultivos tradicionales, fundamentalmente maíz. El 65,6 % de los agricultores innovadores respecto al establecimiento de nuevos cultivos, ha incorporado el cultivo de tomate, fundamentalmente por el mayor ingreso que les produce comparado con el cultivo de maíz.

Figura 4.2.14 Innovación en tecnologías en la actividad agrícola



Abreviaturas Fig. 4..2.14

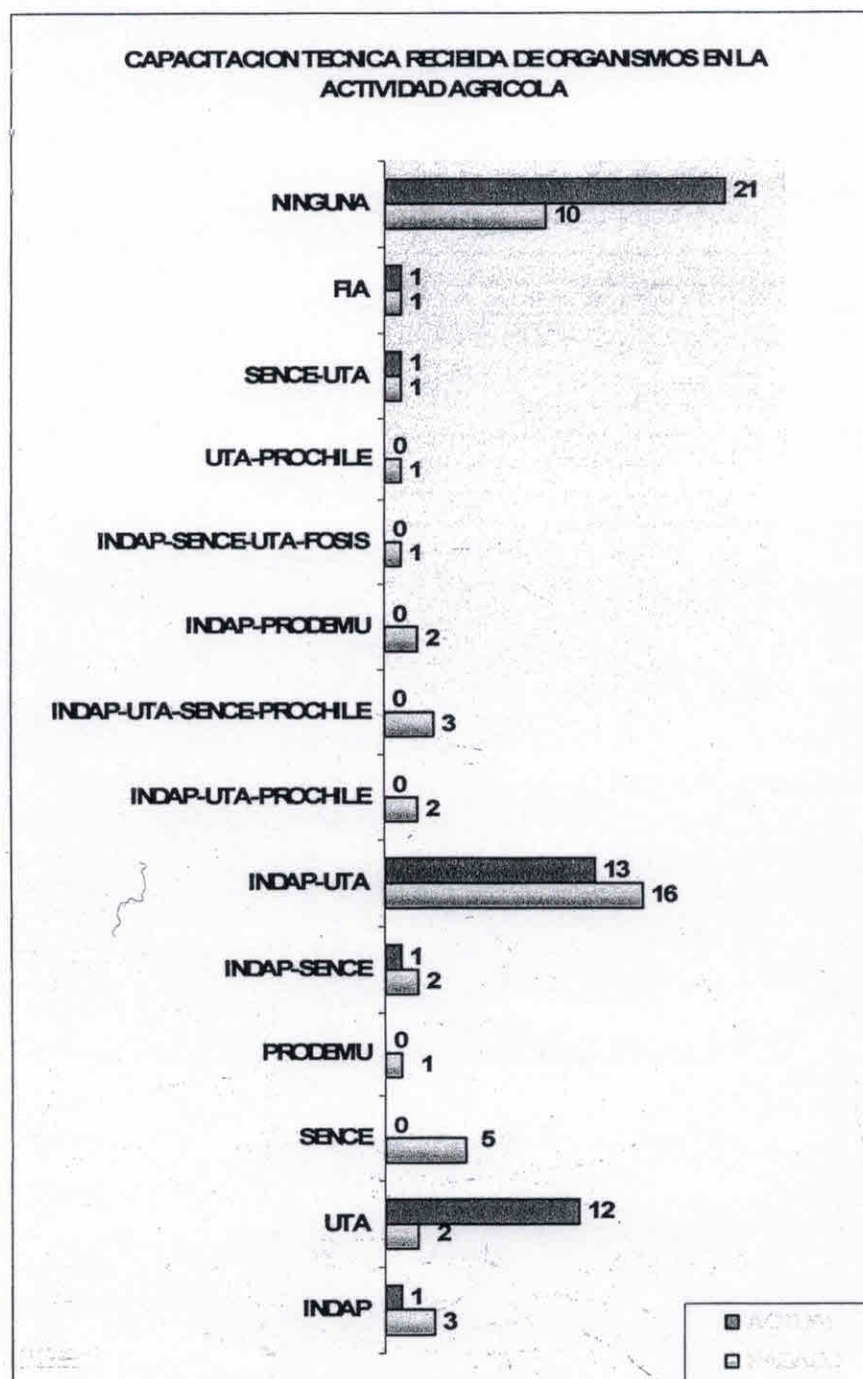
| | | | | | |
|------|---------------|------|---------------------|---------|-------------------|
| RIE. | Riego | PES. | Pesticidas | C. PL. | Cubierta plástica |
| FER. | Fertilizantes | MAQ. | Maquinaria agrícola | M. RAS. | Malla raschel |

Fuente. Elaboración propia

El 80% de los encuestados consideran el riego y otras tecnologías como aplicación de pesticidas, fertilización, uso de maquinaria, dentro de la innovación en

el proceso productivo, en tanto el 18 % han considerado sólo el riego como una tecnología de innovación.

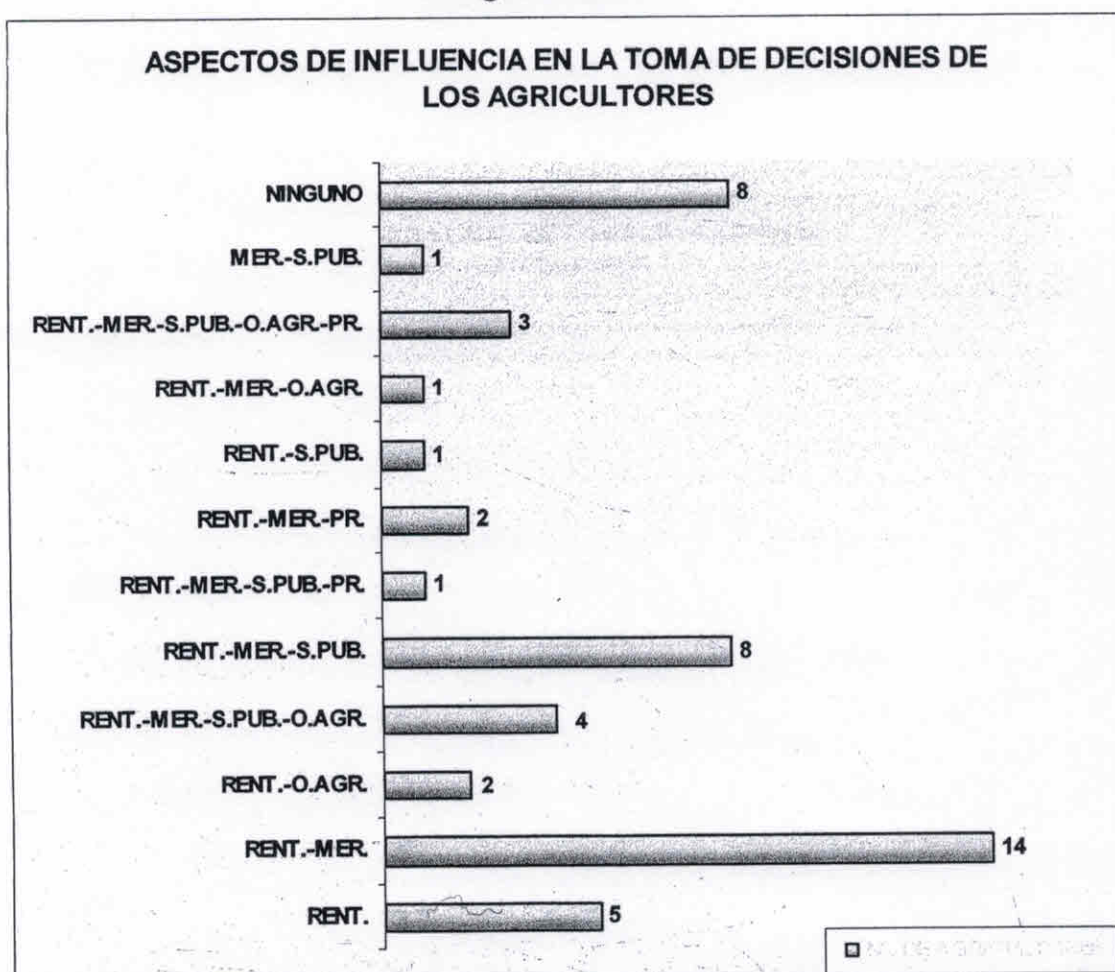
Figura 4.2.15 Capacitación técnica recibida de organismos públicos y universidad



Fuente. Elaboración propia

El 42 % de los encuestados recibe capacitación técnica , el 26% la recibe de INDAP y la Universidad de Tarapacá en forma conjunta , el 24% la recibe sólo de parte de la Universidad de Tarapacá. La figura 4.2.15 indica que ha existido un aumento en el número de agricultores que no reciben asesoría técnica. Asimismo, la asesoría técnica conjunta UTA-INDAP ha sufrido una disminución., actualmente la UTA se encuentra asesorando en forma individual a un mayor número de agricultores que en el pasado, producto de nuevas políticas de la Universidad.

Figura 4.2.16 Aspectos de influencia en la toma de decisiones de los agricultores



Abreviaturas Fig.4.2.16

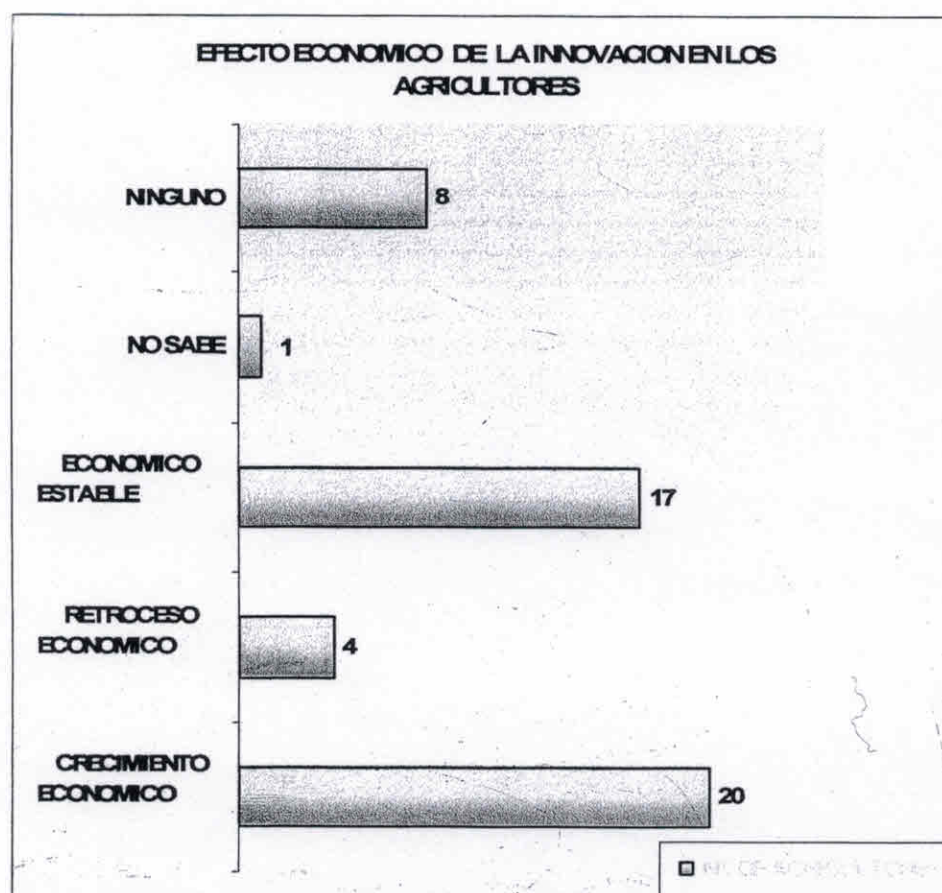
| | | | | | |
|---------|------------------|---------|-----------------|-----|--------|
| MER. | Mercado | RENT. | Rentabilidad | PR. | Propia |
| S. PUB. | Servicio Público | O. AGR. | Otro agricultor | | |

Fuente. Elaboración propia

La rentabilidad de los cultivos y el mercado influyen en la toma de decisiones en el 28 % de los encuestados, en el 16 de ellos además de los factores anteriores se suma la opinión de los servicios públicos, en el mismo porcentaje, es decir 16%, las decisiones son tomadas sin considerar ninguno de los factores presentados en la figura 4.2.16, y deben ser otros los aspectos a considerar en los que destaca la experiencia.

De este punto puede extraerse la existencia de una necesidad no cubierta de los agricultores, de contar con una asesoría para la toma de decisiones respecto a qué cultivo les conviene establecer.

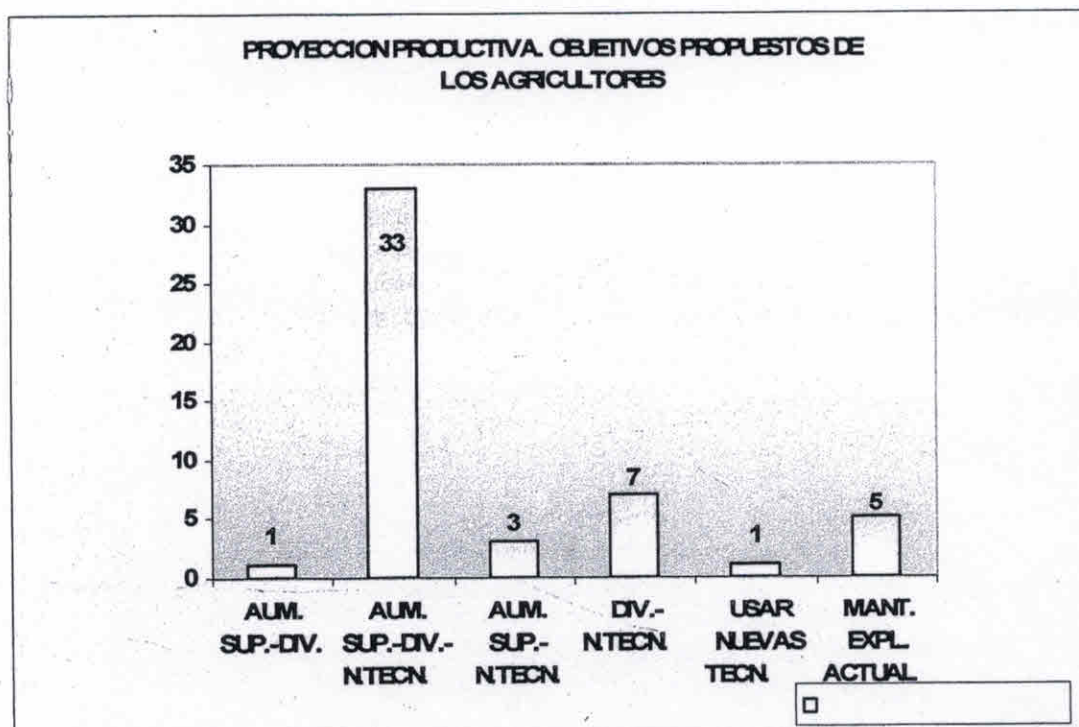
Figura 4.2.17 Efecto económico de la innovación en los agricultores



Fuente: Elaboración propia

Es significativo que el 40% de los agricultores considere que la innovación les ha permitido un crecimiento económico motivándolos a continuar en la adopción de nuevas tecnologías, como también es importante, que un 34% de los agricultores estime que el innovar les ha dado una mejor estabilidad económica.

Figura 4.2.18 Proyección productiva. Objetivos propuestos de los agricultores



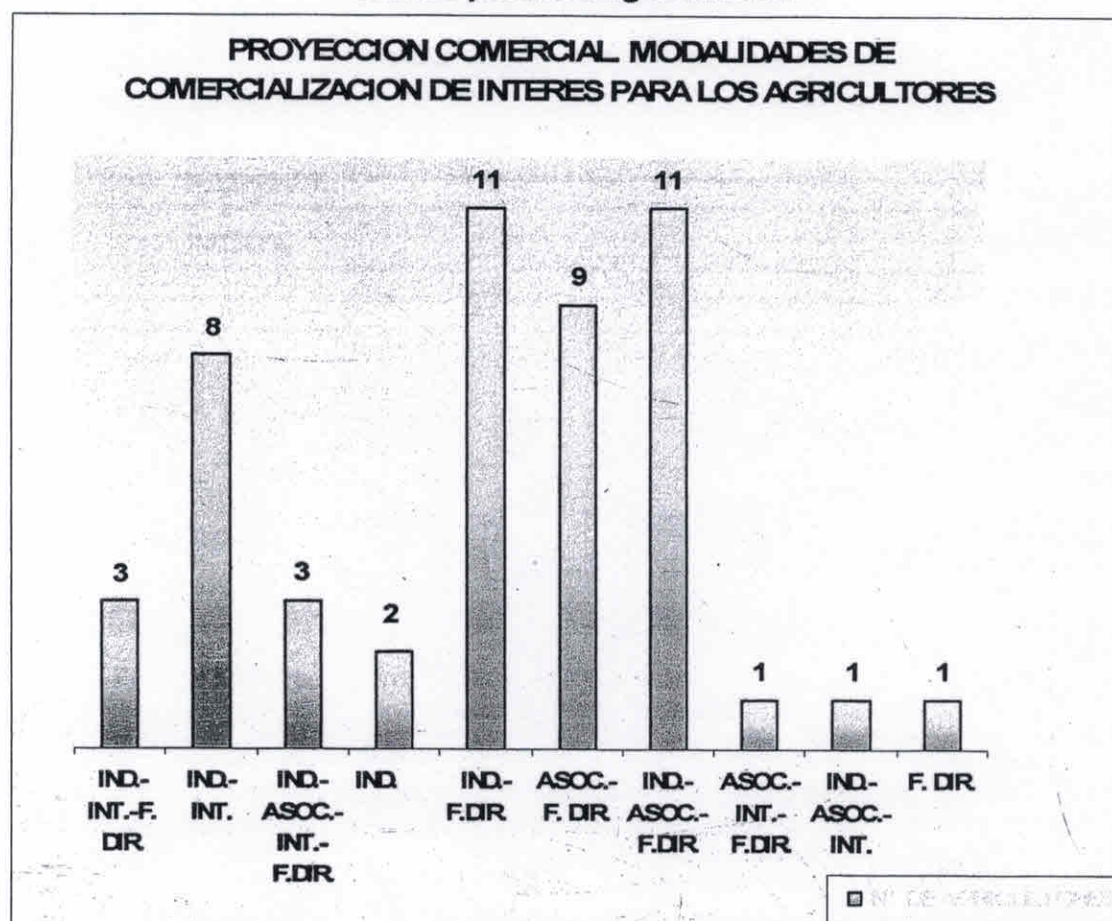
| Abreviaturas Fig. 4.2.18 | | | | | |
|--------------------------|-------------|------|--------------|----------|--------------------|
| MANT. | Mantener | DIV. | Diversificar | SUP. | Superficie |
| EXPL. | Explotación | AUM. | Aumentar | N. TECN. | Nuevas tecnologías |
| TECN. | Tecnologías | | | | |

Fuente: Elaboración propia

El 66% de los encuestados pretende aumentar la superficie, diversificar su producción y aplicar nuevas tecnologías, en tanto que el 14 % pretende diversificar y aplicar nuevas tecnologías en su explotación, el 10% planteó mantener su explotación actual.

Es destacable el interés de un alto porcentaje de agricultores por aplicar nuevas tecnologías, lo cual requiere una adecuada difusión de los instrumentos de fomento actualmente existentes en la región que les permitan materializar esas iniciativas. Al mismo tiempo, resulta interesante y conveniente establecer programas de extensión agrícola orientados a la enseñanza de los agricultores para el uso de las nuevas tecnologías desarrolladas, tanto localmente como desde otras zonas similares. Esto último hace necesario implementar unidades de validación a nivel del valle para que los agricultores conozcan de manera práctica los beneficios de las técnicas para mejorar la productividad.

Figura 4.2.19 Proyección comercial. Modalidades de comercialización de interés para los agricultores



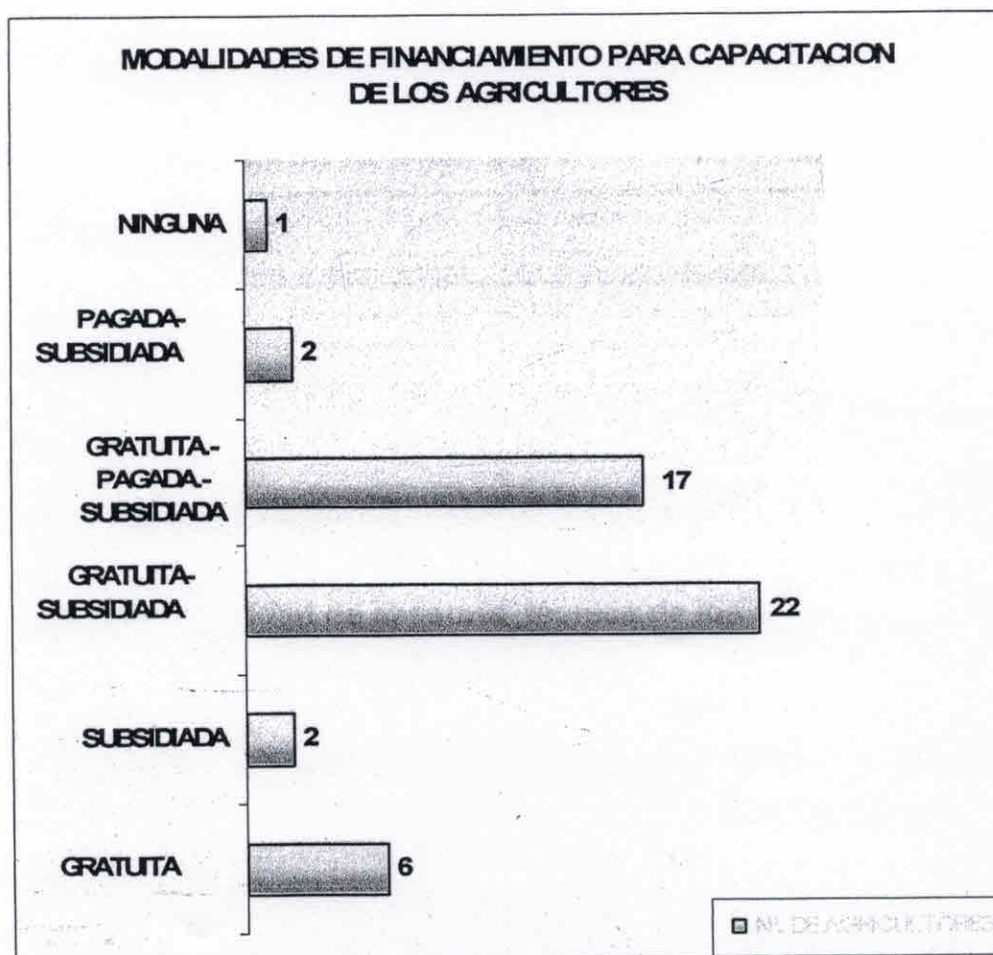
Abreviaturas Fig 4.2.19

| | | | |
|-------|-----------|---------|---------------|
| IND. | Indirecta | INT. | Intermediario |
| ASOC. | Asociada | F. DIR. | Forma directa |

Fuente: Elaboración propia

De la Figura 4.2.19 se desprende la intención del 50% de los agricultores encuestados (25 personas) por asociarse en un mediano plazo, sin embargo, el 22 % (11 personas) no están dispuestos a comercializar sus productos en forma asociada.

Figura 4.2.20 Modalidades de financiamiento para capacitación de los agricultores



Fuente: Elaboración propia

De la encuesta se desprende que 43 agricultores, es decir el 86 % de los agricultores encuestados, están dispuestos a cofinanciar las actividades de capacitación.

Para ello sería necesario en el mediano plazo establecer los incentivos adecuados que hagan sustentable el uso de las nuevas tecnologías, situación que es posible alcanzar a través de programas de extensión agrícola de mediano a largo

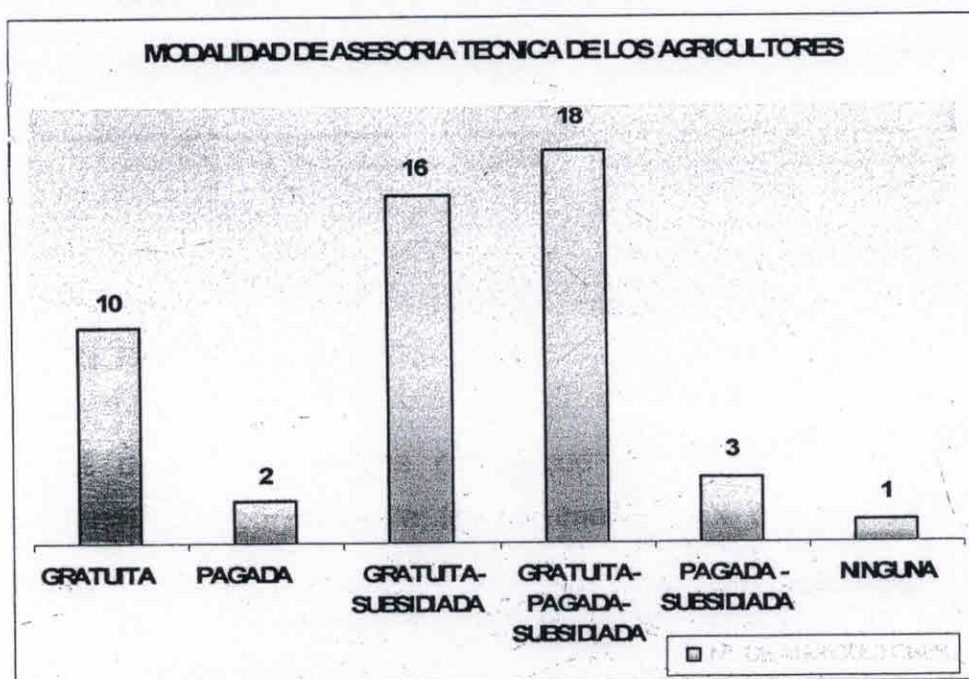
plazo. No se deben perder de vista el tamaño de la explotación, las condiciones adversas de suelo y calidad de agua.

Es necesario recordar que la única actividad económica que arraiga y asegura la permanencia en el tiempo de las inversiones realizadas es la agricultura, siendo esta actividad la que radica poblaciones en los lugares más inhóspitos, posibilitando la estabilidad de los beneficiados en el territorio y generando herramientas que permitan la proyección de las actividades económicas posteriormente a la finalización de los proyectos.

Para lo anteriormente mencionado, sería recomendable buscar alternativas como:

- Soluciones sociales orientadas hacia una mejor comercialización
- Fomentar la asociatividad de los involucrados
- Mostrar alternativas tecnológicas unidas a la competitividad y asociatividad

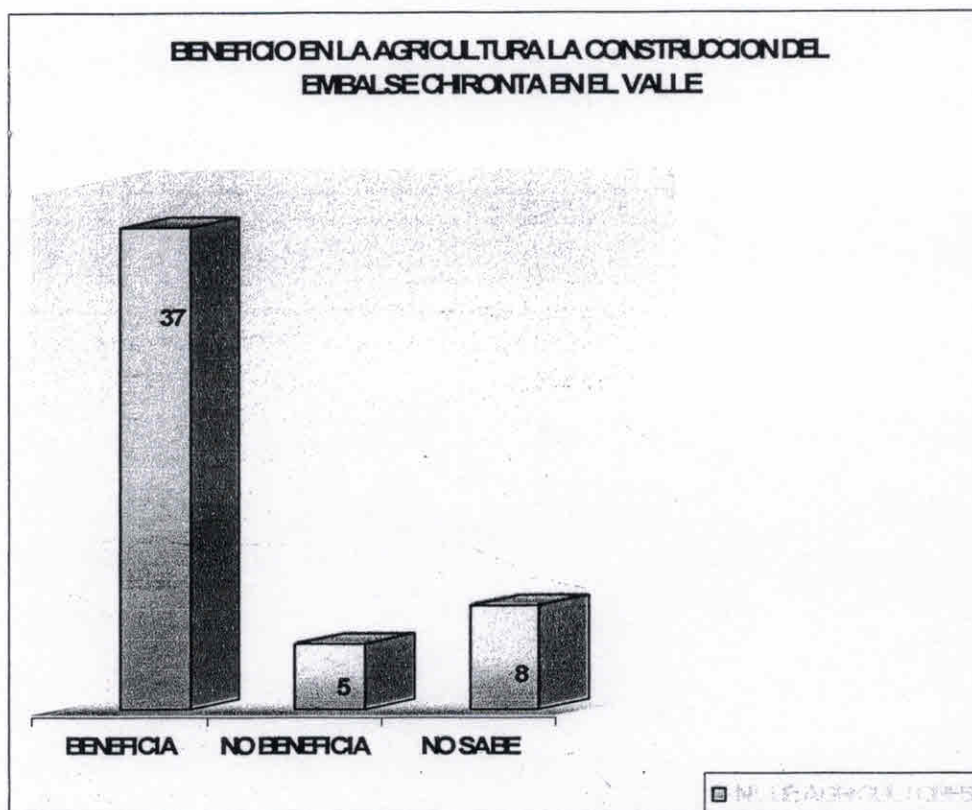
Figura 4.2.21 Modalidad de asesoría técnica de los agricultores



Fuente: Elaboración propia

La proyección respecto del financiamiento de la asesoría técnica indica que sólo 2 agricultores (4 %) del número total encuestado estarían dispuestos a financiarla con recursos propios, en tanto el 74 % estaría dispuesto a cofinanciar la asesoría técnica. Por otro lado, un 20% requiere de asesoría técnica pagada por el Estado, no colaborando con su financiamiento.

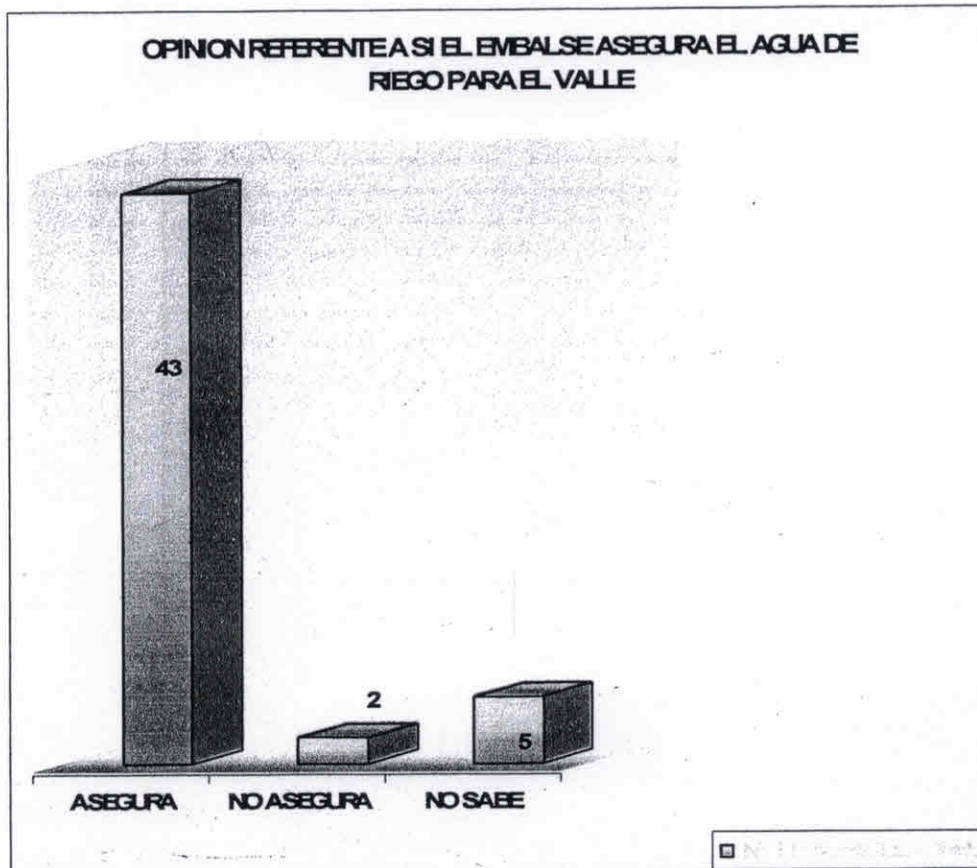
Figura 4.2.22 Beneficio en la agricultura la construcción del embalse Chironta en el Valle de Lluta



Fuente: Elaboración propia

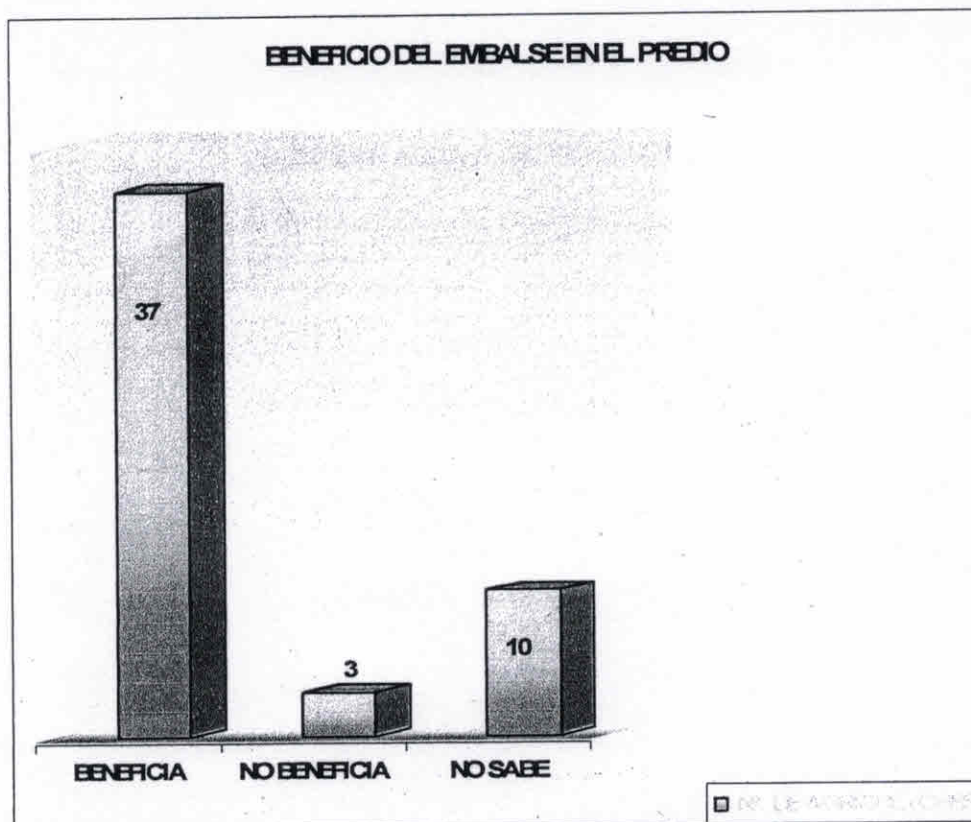
El 74% de los agricultores opina que la construcción del embalse Chironta sería beneficioso para el valle, los argumentos que originan esta opinión son la seguridad del agua de riego y posibilidad de aumentar la superficie de cultivo.

Figura 4.2.23 Opinión respecto a si el embalse asegura el agua de riego para el Valle



El 86% de los agricultores opina que la construcción del embalse asegura el agua de riego para el valle, esta opinión principalmente se basa en la posibilidad de acumular parte del agua de las crecidas del río y utilizarla en el período de mitación.

Figura 4.2.24 Opinión referente a sí el embalse beneficia al predio



Fuente: Elaboración propia

Para el 74% de los agricultores la construcción del embalse beneficiaría a sus predios. Esta opinión se basa en que al existir un embalse, se mejoraría la seguridad de riego del valle, permitiéndolo asegurar el riego de la superficie que se cultiva actualmente y a la vez es posible incrementar la superficie cultivada, propiciando un mayor beneficio económico para los agricultores.

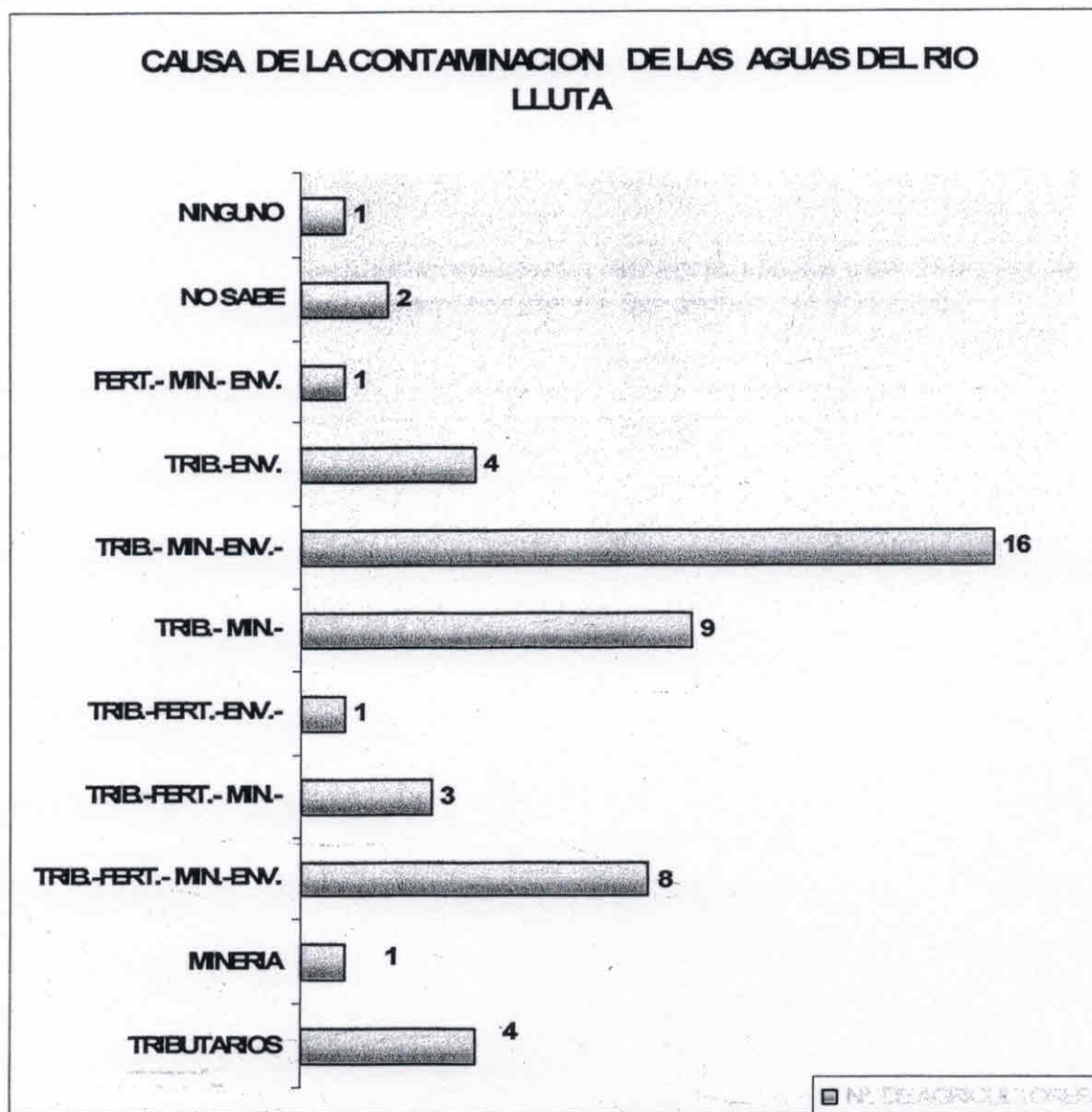
Figura 4.2.25

Conocimiento de estudios de la contaminación de las aguas del Río Lluta

Fuente: Elaboración propia

Aunque estos últimos años se han realizado algunos estudios respecto a la contaminación de las aguas del río Lluta, JICA, INGENDESA, U. CATÓLICA entre otros, no todos los agricultores encuestados tienen conocimiento de los resultados de estos estudios, siendo necesario que la información obtenida tenga mayor difusión en el medio, señalando que la contaminación de las aguas es la principal causa de la salinidad de las mismas.

Figura 4.2.26 Causa de la contaminación de las aguas del Río Lluta



Abreviaturas Fig. 4.2.26

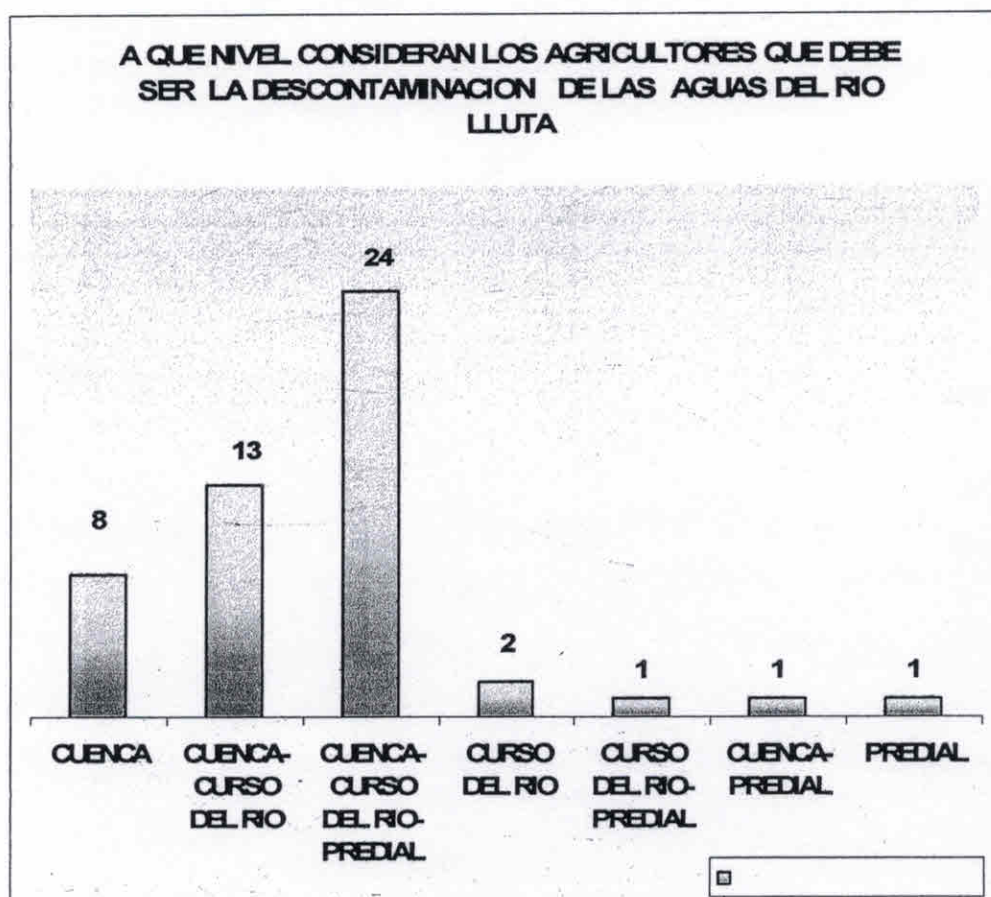
| | | | |
|------|---------------|-------|---------------------|
| FER. | Fertilizantes | ENV. | Envases agrotóxicos |
| MIN. | Minería | TRIB. | Tributarios |

Fuente: Elaboración propia

Es relevante que el 88% de los agricultores relacionen a los tributarios con la contaminación de las aguas del río Lluta, ya sea, como único factor o en combinación con otros elementos. Una de las causas de esta atribución es el hecho de que esta información se ha heredado generacionalmente, como también en que la Junta de Vigilancia del río Lluta (en formación) a cargo de la administración de las

aguas de este río, por años ha abordado esta problemática solicitando mejoras y estudios al respecto. Sin embargo, no todos los agricultores encuestados tienen la misma opinión de cuál o cuáles son los elementos más perjudiciales sobre la calidad del agua. Por ello resulta absolutamente necesario que la información de estos estudios tenga mayor difusión en el medio agrícola,

Figura 4.2.27 A que nivel consideran los agricultores que debe ser la descontaminación de las aguas del Río Lluta

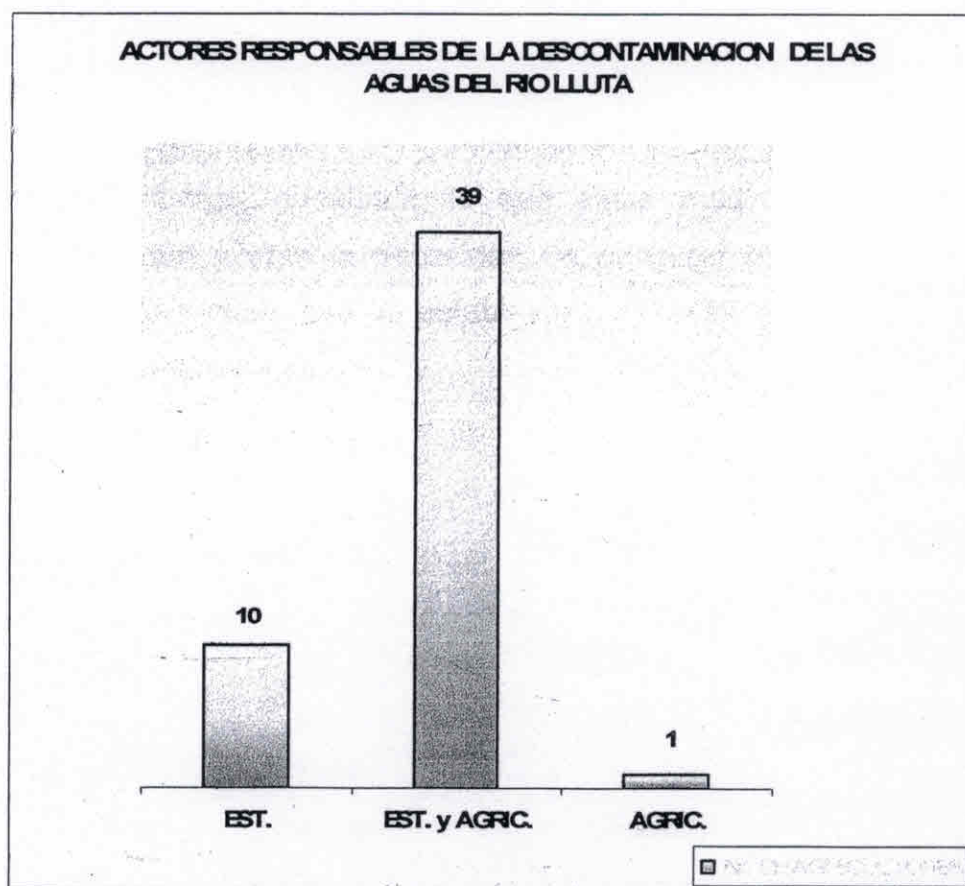


Fuente: Elaboración propia

Un 92 % de los encuestados mencionó que la intervención para solucionar el problema de contaminación de las aguas debería realizarse a nivel de la cuenca. Un 48 % de los agricultores desearía que se realizasen acciones tendientes a mejorar la calidad del agua a nivel de cuenca, curso del río e incluso a nivel predial, dado que estas soluciones les permitirían desarrollar cultivos más competitivos,

rentables, y tener la posibilidad de llegar con sus productos a mercados tanto nacionales como internacionales.

Figura 4.2.28 Actores Involucrados en la descontaminación de las aguas del Río Lluta



El 20% de los agricultores opina solamente el estado debe asumir el costo de la descontaminación de las aguas. Un 78% de los encuestados opinan que el Estado con los agricultores son los responsables de financiar alternativas para descontaminar las aguas del río Lluta. Cabe mencionar que preferentemente opinan que es tarea y responsabilidad del Estado; sin embargo, considerando que es en beneficio de su actividad y ante la necesidad de asegurar el funcionamiento de mejora que se establezca, están dispuestos a aportar económicamente según sus posibilidades. Sería conveniente el diseño de una convocatoria de fondos

conkursables especialmente diseñados para colaborar con el desarrollo de estas obras de mejoramiento de la calidad del agua, fundamentalmente a nivel predial con el objetivo de beneficiar a estos agricultores.

Es conocimiento de los agricultores que las posibles alternativas que se definan para la descontaminación de las aguas, involucran altos costos en su instalación, operatividad, control y mantención, costos que el 80% de los agricultores están abiertos a compartir en algún monto con el Estado. Cabe mencionar que prefentemente opinan que es tarea y responsabilidad del Estado solucionar estas problemáticas; sin embargo, considerando que estas medidas redundarían en beneficio de su actividad y ante la necesidad de asegurar el funcionamiento de cualquier alternativa de mejora que se establezca, estarían dispuestos a aportar económicamente según sus posibilidades.

5. Información asociada al desarrollo de nuevos emprendimientos, en los que se ha diversificado el tipo de cultivos del valle y aplicación de riego tecnificado

Esta problemática de la salinidad ha sido enfrentada por algunos agricultores en el Valle de Lluta de diversas maneras, siendo el eje central, la incorporación del riego mecánico, algunos de ellos haciendo uso de los beneficios de créditos de INDAP y otros en forma adicional, se vieron beneficiados con subsidios otorgados por el Estado para dichos fines, mientras que algunos lo han realizado con financiamiento propio.

En forma adicional a la incorporación del riego mecánico, se han agregado prácticas de manejo que tienen relación con un aumento en el aporte de materia orgánica al suelo, el uso de mayores cantidades de fertilizantes, uso de micro nutrientes aplicados ya sea foliar o a través de la red de riego, control de plagas y enfermedades, uso de enmiendas químicas, aumento en el uso de elementos que permiten actuar en forma antagónica con los elementos que causan toxicidad. Por ejemplo, algunos agricultores han aumentado la aplicación de Fósforo, tanto en la fertilización de base como a través de la red de riego, aporte de mayores dosis de Nitrógeno y de Potasio fueron reportadas por los agricultores.

Los análisis de suelos demostraron que los contenidos de los elementos mayores en el suelo son superiores a los niveles medios recomendados. De esta manera es fundamental apoyar a los productores en el diagnóstico de las necesidades nutricionales de sus cultivos a través de la implementación de un Programa de Extensión Agrícola, estructurado sobre la base de las particularidades del valle de Lluta y que se encuentre estrechamente vinculado con trabajos de investigación agrícola locales. Para la implementación de este programa, debe disponer con un 100% de financiamiento durante cinco años. Posteriormente, se sugiere la existencia de instrumentos de apoyo con financiamiento compartido.

Un aspecto importante ha sido el manejo de la humedad del suelo, los agricultores visitados y que han sido denominados como **"agricultores asociados a nuevos emprendimientos"**, manejan adecuadamente la humedad del suelo, evitan el anegamiento de entrelíneas a través del manejo de la frecuencia y tiempo de riego, hacen uso de doble cinta de riego, situación que debería ser estudiada y demostrada mediante ensayos, para verificar si es económicamente adecuado su uso, o si es aconsejable el uso de un nuevo emisor que permita la entrega de un mayor caudal de riego .

El uso de plásticos sobre la hilera para evitar la evaporación del agua y así mantener la humedad del suelo y evitar las malezas, es otra práctica que algunos realizan. Otra técnica es el uso de camellones altos en la hilera de plantas con lo cual se aumenta el volumen de suelo explorado por las raíces de los cultivos al mejorar la condición de drenaje en las estratas superficiales del suelo.

En general, las plantas cultivadas en el valle de Lluta manifiestan un nivel de daño por sales, el cual se hace más evidente en la zona baja. No obstante algunos agricultores como es el caso del Sr. Luis González (km 8), utilizando mulch plástico, riego por goteo y aplicación de estiércol, en cultivos de lechuga, tomates y coliflor, obtiene producciones que le significan un mayor retorno que el de los cultivos tradicionales (maíz y alfalfa).

Respecto al cultivo del tomate no se aprecian diferencias significativas en cuanto a tamaño, forma y calidad, respecto del tomate de Azapa. Sin embargo, se mantienen las diferencias en cuanto a los rendimientos medios del valle de Azapa (30 % menos). Sobre el particular, se debe insistir en el apropiado manejo de la fertilización, la atenuación o mitigación del efecto de las sales presentes en el agua de riego, específicamente Boro, Cloruros, Sulfatos y Sodio. Lo cual permitiría disminuir estas diferencias de rendimiento.

Se ha detectado que los agricultores carecen de metodologías de seguimiento de los niveles nutricionales presentes en el suelo antes, durante y

después de sus cultivos, es por ello que, dado el alto costo actual de los fertilizantes, parece del todo pertinente sugerir que se realice una serie de ensayos con una muestra de diversos sistemas que permitan generar en los agricultores una estrategia de toma de decisiones al respecto, utilizando herramientas sencillas y adaptadas a sus propias condiciones de trabajo, e instruyéndoseles en el correcto uso de las mismas, a fin de generar una metodología de trabajo al respecto.

A continuación se presenta de fotos de diferentes agricultores que han incorporado mejoras en el manejo de sus cultivos.



Foto 5.1 Cultivo de betarraga (*Beta vulgaris* L.) asociado con tomate (*Solanum lycopersicum* L.)



Foto 5.2 Cultivo de Coliflor (*Brassica oleracea* L.) con riego por goteo



Foto 5.3 Efecto de la salinidad en el cultivo de Coliflor (*Brassica oleracea* L.)



Foto 5.4 Efecto de la salinidad en el cultivo de Coliflor (*Brassica oleracea* L.)



Foto 5.5 Cultivo de Brócoli (*Brassica Oleracea* L. var. *Italica*) con riego por goteo.

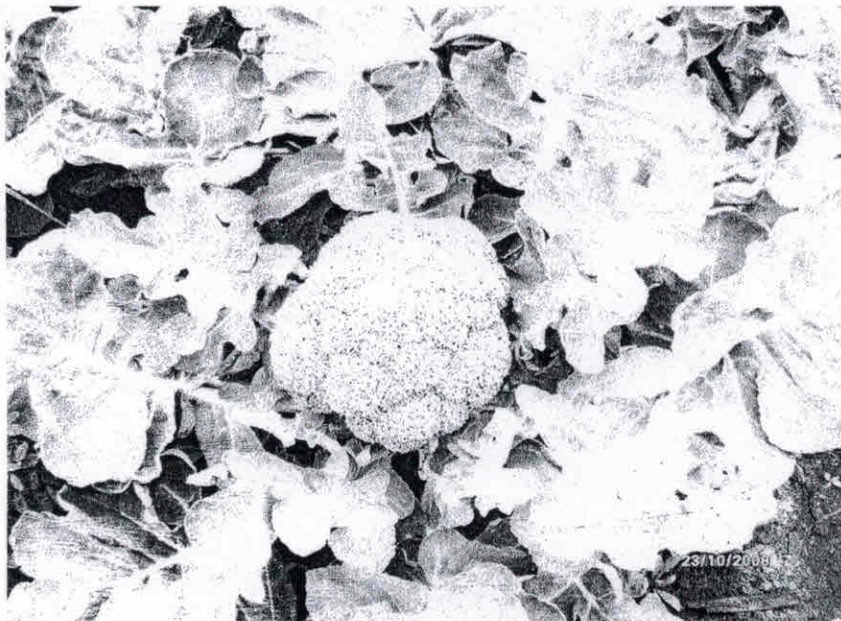


Foto 5.6 Cultivo de Brócoli (*Brassica Oleracea* L. var. *Italica*)

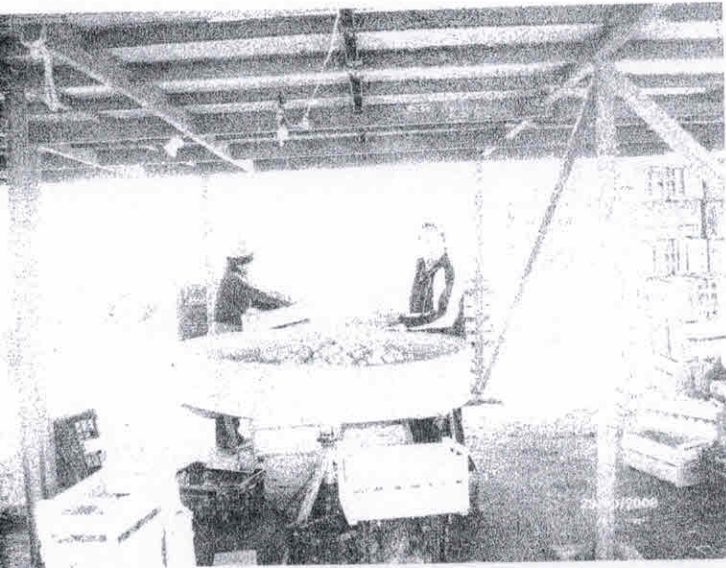


Foto 5.7 Marcelino Ocaña M., agricultor innovador.
Cultivo tomate (*Solanum lycopersicum*).
Sector Rosario



Foto 5.8 Miguel Mayorga H., agricultor innovador.
Cultivo tomate (*Solanum lycopersicum*).
Sector Linderos.

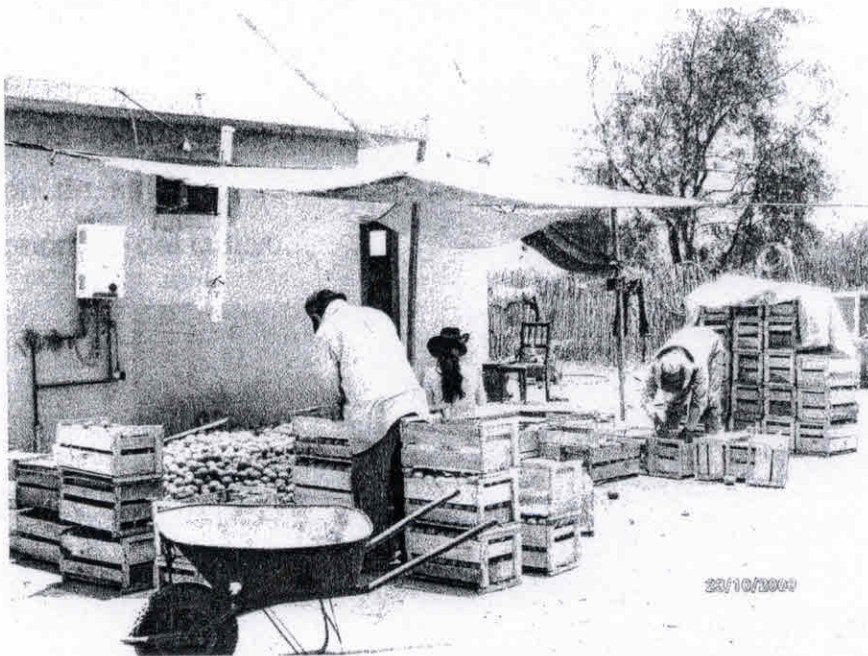


Foto 5.8 Adolfo Yampara B., agricultor innovador. Cultivo tomate
(*Solanum lycopersicum*). Sector El Morro

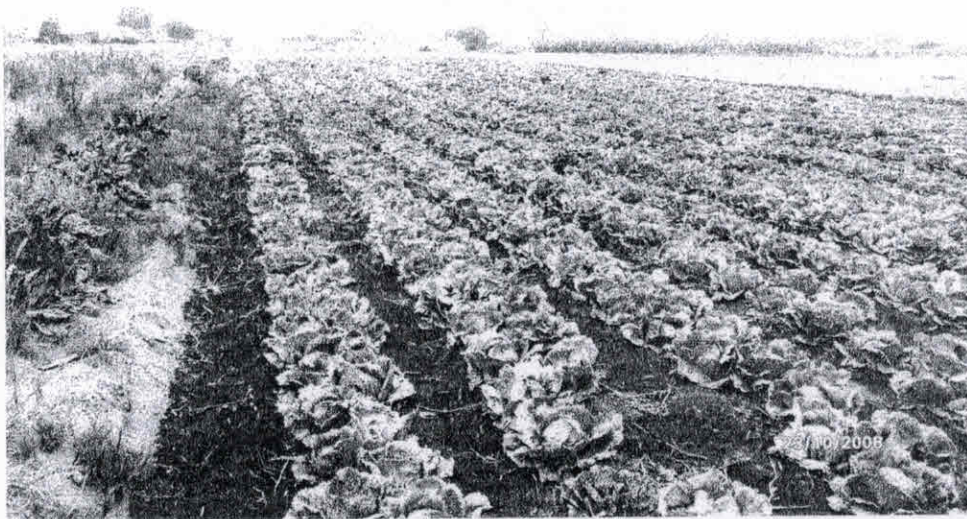


Foto 5.9 Luis González S., agricultor innovador. Cultivo lechuga (*Lactuca sativa* L.) Sector El Morro

En la Foto 5.9 se observa un campo de lechugas, donde se aprecia daño por sales en hojas más viejas de la planta, aun se mantiene su valor comercial, si la cosecha no es oportuna se manifiesta un deterioro en la base de la planta por la acumulación de sales lo que hacen perder su valor comercial lo que afecta el retorno económico del cultivo.



Foto 6.10 Efecto de la salinidad en hojas de lechuga, (*Lactuca sativa* L.)



Foto 5.11 Parcela Sr. Luis González, agricultor innovador. Cultivo tomate (*Solanum lycopersicum*) con y sin much.

De lo observado en el predio del Sr. González, surge la pregunta: ¿qué variedad del cultivo de es el mejor para las condiciones del Valle de Lluta? ¿es mejor el tomate determinado o indeterminado?. Esta interrogante sólo puede ser respondida sobre la base de información aportada por pruebas de campo, dado lo complejo del problema salino y las interacciones existentes en este tipo de suelos y agua.

Es recomendable potenciar la capacidad de investigación establecida en la zona, con presupuesto de mediano a largo plazo para de esa manera implementar planes de investigación y validación a nivel de campo. Sobre esta

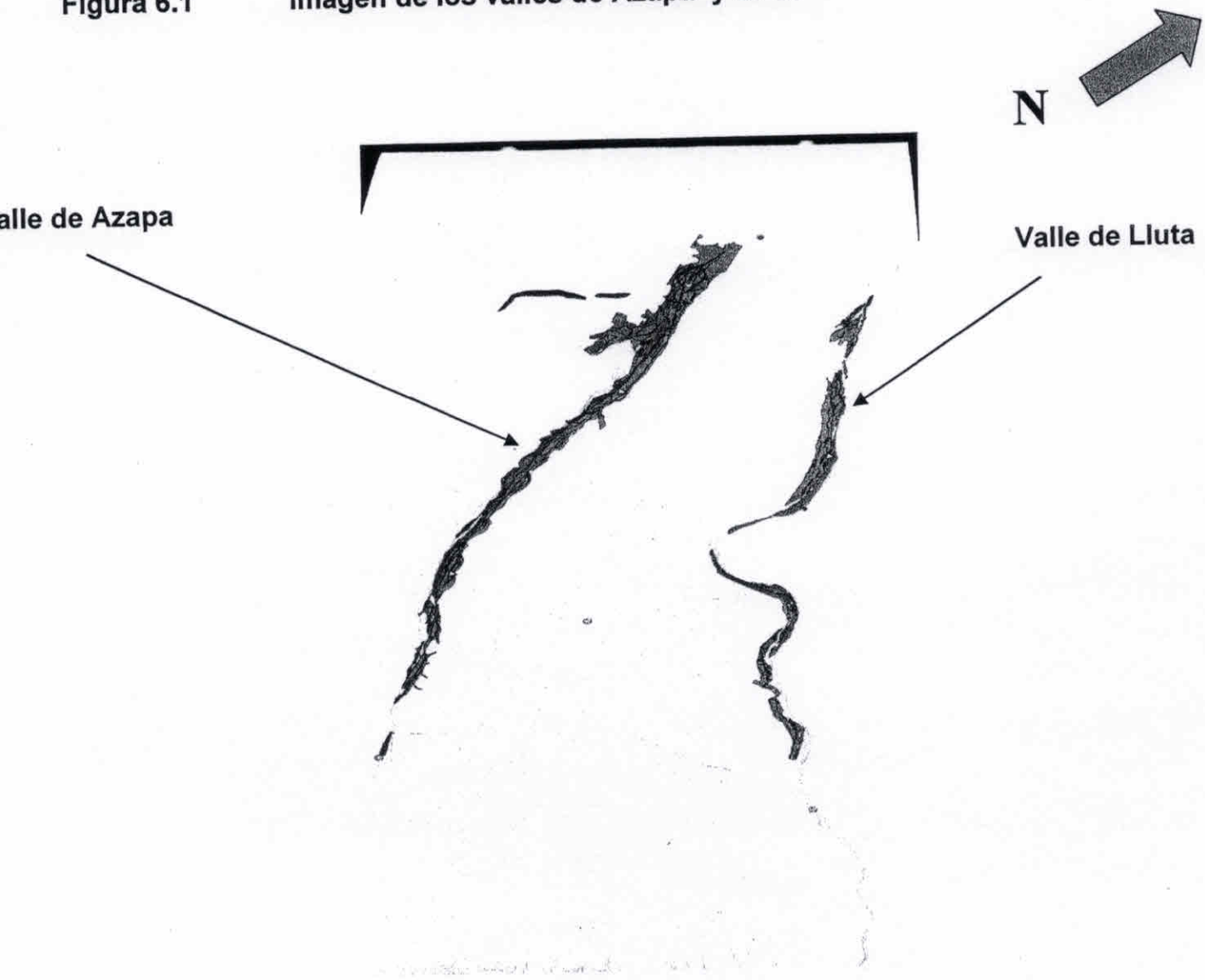
materia la Universidad de Tarapacá cuenta con: laboratorios, campos experimentales y profesionales con experiencia en la temática agronómica, habiendo solucionado diversas problemáticas agrícolas ininterrumpidamente por más de 45 años.

Los datos de los contenidos salinos en el agua y en el suelo según la literatura internacional consultada indican que no es posible desarrollar una actividad agrícola bajo dichas condiciones de campo. No obstante, en el Valle de Lluta se logran importantes resultados en diferentes cultivos que han desarrollado una adaptación a dichas condiciones, específicamente a los elementos boro, cloruros sulfatos y sodio.

Sin embargo, podrían mejorarse las condiciones productivas a fin de disminuir el efecto de las sales con diversos manejos que podrían probarse, como asimismo estudiar in situ diferentes estrategias para mejorar la rentabilidad de los cultivos. No obstante, ello debe ir enlazado con una apropiada estrategia de asociatividad y comercialización.

6. Ubicación en coordenadas UTM

Figura 6.1 Imagen de los valles de Azapa y Lluta



Fuente: Seremi de Agricultura, año 2000

La imagen que se presenta la figura 6.1 fue proporcionada por la SEREMIA de Agricultura, Región Arica- Parinacota, lo cual fue complementado con recursos computacionales facilitados por la Dirección General de Aguas de Arica- Parinacota. Sobre esta base de datos se incorporaran las lecturas tomadas en terreno, para lo cual también se contó con el apoyo de un Profesional de la DGA Arica Parinacota. De esta manera cada predio de los "agricultores asociados a

nuevos emprendimientos" está identificado. Antecedentes tomados en terreno sobre la ubicación de cada predio se presenta en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Referencia geográfica de agricultores asociados a nuevos emprendimientos

| Nombre Agricultor | Km. | Coordenada Este | Coordenada Norte | Cultivo |
|--------------------|------|-----------------|------------------|---------------------|
| Luis González S. | 8 | 369.632 | 7.964.161 | Tomate con plástico |
| | | 369.632 | 7.964.178 | Tomate sin plástico |
| | | 369.629 | 7.963.974 | Lechuga |
| Adolfo Yampara B. | 10 | 373.446 | 7.964.513 | Tomate nuevo |
| | | 373.174 | 7.964.598 | Tomate antiguo |
| Feliza Viza G. | 17 | 379.694 | 7.964.243 | Tomate |
| Marcelino Ocaña M. | 17,5 | 380.302 | 7.964.448 | Tomate |
| José Yucra L. | 25 | 386.265 | 7.960.633 | Tomate nuevo |
| | | 386.207 | 7.960.657 | Tomate antiguo |
| Ana Yucra A. | 26 | 386.419 | 7.960.661 | Tomate |
| Miguel Mayorga H. | 28 | 388.503 | 7.960.339 | Tomate nuevo |
| | | 388.553 | 7.960.372 | Tomate antiguo |

Instrumento de medición: GPS, marca GARMIN, modelo LEGEND. Datum : PROV. S Am. 56. 2008.
Carlos Castillo A (DGA) y Mónica Jiménez P. (UTA)

7.- Conclusiones y avance crítico sobre el efecto de las sales en los cultivos en el Valle de Lluta.

De acuerdo a lo señalado en los informes de avance, la producción agrícola de la zona norte de Chile se enfrenta a muchas dificultades que están muy relacionadas con la aridez presente. En relación a ello, se había definido previamente que entre los principales problemas del Valle de Lluta están la salinidad, toxicidad por Cl⁻, B, Na, alto pH de la rizósfera, compactación del suelo, bajo contenido de materia orgánica, daño por nemátodos y la dificultad referente a la escasa disponibilidad de agua. También se habían definido condiciones de elevada concentración salina además de la alta toxicidad específica causada por cloro, sodio y boro, las cuales según se ha precisado, han ido limitando la diversificación de los sistemas productivos agrícolas, afectando inclusive la rentabilidad de los procesos y restringiendo las actividades productivas. Estos y otros factores han repercutido en el interés por la incorporación de nuevas tecnologías, lo cual está revitalizándose lentamente con algunos ejemplos que han devenido a establecer nuevas alternativas productivas que han privilegiado principalmente el factor climático.

Esto pudiera revertirse luego de conocidos los factores limitantes de la producción agrícola del valle y habiéndose ampliado las alternativas de generar seguridad de riego y mayor disponibilidad hídrica para los agricultores de la zona, como asimismo las estrategias para enfrentar la serie de factores limitantes ya citados anteriormente.

7.1 Visión crítica de los diagnósticos descritos por diversos consultores.

La recopilación de antecedentes que se ha realizado mediante el presente trabajo ha tenido diversas fuentes de información, en su gran mayoría estudios de diferente data. Asimismo, un aporte relevante corresponde a la visión de los agricultores, obtenida mediante las encuestas realizadas in situ, cuyos resultados permiten clarificar cuál es la percepción de los usuarios finales del recurso hídrico. Su importancia reside en que la productividad del suelo se articula principalmente a través de las consecuencias de sus cambios, de lo que los agricultores están viendo

sobre sus campos y del efecto que esto tiene en las prácticas y en la producción agrícola. Las ventajas de conocer estos antecedentes, además del punto de vista técnico, es que permiten acercarse a la problemática del valle de Lluta con los elementos de realismo, integración de las opiniones sobre el manejo y la degradación de la tierra y de los sistemas de riego, además del sentido práctico que permitiría generar impactos reales tanto en la calidad de vida de los habitantes como en el mejoramiento del sistema productivo, considerando el punto de vista de sus principales actores.

7.2 Ventajas potenciales del establecimiento de embalses reguladores de caudal en el río Lluta

Estudios del año 2004 han señalado la existencia de un área cultivada que corresponde al 37% del total de tierras agrícolas, dado que la superficie restante está en permanente descanso debido a la carencia de agua de riego y a la escasa capacidad de drenaje del suelo.

Los estudios revisados dan cuenta de que al tener mayor disponibilidad del recurso hídrico bajo un embalse de regulación de la cuenca, se permitiría aumentar la seguridad de riego para la superficie máxima cultivable, permitiéndose además aumentar el número de hectáreas destinadas a cultivos de mayor rentabilidad como ajo y cebolla, en vez de continuar con las pocas alternativas disponibles hasta ahora, entre las que se cuentan principalmente el maíz Lluteño y la alfalfa. Asimismo, al asegurar un recurso hídrico disponible en los meses en que usualmente no se contaba, (septiembre a diciembre), la superficie productiva disponible se incrementaría, redundando en un aumento de la generación de dos cosechas al año en la superficie del valle, incrementando ostensiblemente el potencial productivo del mismo, pudiendo intensificarse el uso de la tierra con la generación de diversas hortalizas, más rentables y en mayor volumen.

Dentro del valle de Lluta, de construirse obras que aseguren caudal de riego, como es el caso del embalse Chironta (INGENDESA, 2002), se ha proyectado sería posible implementar a futuro cultivos más rentables que los preexistentes,

pudiendo introducirse nuevos cultivos como palma datilera, espárragos, además de otras hortalizas de mayor rentabilidad, considerándose instancias de investigación y seguimiento en parcelas piloto con variedades de frutales subtropicales establecidos sobre porta injertos resistentes y tolerantes a suelos y aguas con contenidos de boro y cloruros, como asimismo la evaluación de su rentabilidad y la exploración de alcanzar mayores cotas dentro de su potencial productivo.

El mejoramiento de las condiciones productivas en términos del mejoramiento de la calidad de las aguas en términos de su CE y la consecuente acumulación de sales fitotóxicas en el suelo, facilitaría la diversificación productiva del Valle de Lluta. Ante ello, la labor que pudiera realizar la Universidad de Tarapacá como ente colaborador del desarrollo del Valle de Lluta, mediante sus contactos con numerosos institutos de investigación en zonas áridas de todo el planeta, puede ser aún más productiva, abasteciendo de nuevas alternativas productivas para este valle, aprovechando la ventaja comparativa de sus favorables condiciones climáticas. Al disminuirse la presión del exceso de salinidad y de los niveles de boro en el agua, tal vez minimizando su condición de factor limitante, (a pesar de no dejar de serlo), podrían generarse nuevas alternativas de manejo, permitiendo identificar otros factores limitantes del desarrollo productivo de los cultivos.

Estudios de reciente data (2004) son explícitos al declarar que, a pesar de existir referentes respecto a diversos parámetros de la calidad de aguas y proyecciones reflejadas en la tendencia central de los parámetros de calidad de agua, mediante el Programa de Muestreo Puntual CADE-IDEPE, que privilegia los componentes de tipo inorgánicos, no es menos cierto que no existen mediciones frecuentes referentes a otros indicadores tales como DBO_5 , sólidos suspendidos y coliformes fecales, los cuales son antecedentes valiosos para tomar decisiones de utilización (o no) del recurso según los riesgos, para las actividades agrícolas, salud humana y procesos derivados, como asimismo posibles medidas de control y mitigación. Asimismo, tales estudios se basan en información complementaria y se han enfocado a verificar la clase actual en algunos segmentos de los cauces seleccionados, lo cual puede entenderse como la focalización a obtención de datos

en algunos puntos sin considerar la totalidad de los efluentes, lo cual podría llevar a errores de interpretación, por lo cual resulta recomendable una ampliación de los puntos de muestreo, de manera de permitir una visión más acabada de los puntos de mayor fuente de contaminación y que pudiesen abrir las posibilidades a nuevas alternativas de manejo de caudales y efluentes para mejorar la calidad del recurso hídrico.

Asimismo, es recomendable desde nuestro punto de vista el considerar la estandarización de las metodologías de análisis de laboratorio ante parámetros de calidad del agua dado que efectivamente los límites de detección, especialmente en los análisis de los contenidos de cadmio y mercurio, por sus posibles efectos para la vida humana y de los vegetales. No se ha considerado hasta este punto el componente ecológico de la biota asociada tanto en el tema de especies de peces y otros elementos como crustáceos que pudiesen ser evaluados como posibles de explotarse de mejorar las condiciones de contaminación del río.

7.3 Sugerencias de mejoramiento en la prestación de servicios y en la calidad de aguas

Desde el punto de vista de la creciente conciencia ciudadana y su preocupación ante la emergencia del cambio climático como un eje de políticas estatales para hacerle frente y mitigar sus efectos, el aseguramiento y la distribución de los recursos hídricos es en este momento coyuntural, del todo necesario ante esta situación de cambio que afecta a la agricultura nacional y que es necesario enfrentar con una mirada expectante y cauta, sobretodo en las zonas extremas de nuestro país, como es el caso de la Región de Arica y Parinacota, que puede verse desfavorecida en muchos aspectos, sin embargo cuenta a la vez con fortalezas en otros puntos, a los cuales se debiera privilegiar, como es el caso de la agricultura de alta tecnología, uno de los ejes de desarrollo regional, dada la estupenda condición climática presente y su profundo impacto tanto en la cantidad de mano de obra que moviliza, como en el mantenimiento de las estructuras sociales particulares de la zona.

7.4 Necesidades de seguimiento, difusión y capacitación

Para permitir la máxima expresión del potencial productivo es urgente atender la capacitación del sector, ésta debería contemplar un fuerte énfasis en la sustentabilidad del medioambiente, cuidando entre otros puntos, la correcta utilización y mantención de la estructura, fertilidad y capacidad de uso de los suelos, como asimismo el mejoramiento de la eficiencia en el uso de los recursos hídricos, máxime si se cuentan con estrategias para mejorarlo tanto en caudal como en calidad.

También se vuelve necesaria la exploración de diferentes alternativas para una utilización más eficiente de recursos e insumos, tanto como en el manejo oportuno de fertilizantes y pesticidas, asegurándose de este modo el introducir en los agricultores la apropiada implementación de las buenas prácticas agrícolas, aunque no es menos cierto que se debe seguir un escalamiento gradual de objetivos tendientes a mejorar las condiciones de productividad, mejoramiento de la calidad de los productos, diversificación, comercialización, entre otros aspectos.

Cabe destacar que sería también necesaria una mayor difusión hacia la masa crítica de los agricultores pobladores del Valle de Lluta respecto de los beneficios de la Ley de Fomento a la Inversión Privada en Riego y Drenaje. Si bien uno de los resultados esperados es un incremento de los caudales factibles de utilizarse en riego, como también una apropiada capacitación hacia los agricultores respecto a la mejor manera de utilización de estos instrumentos estatales hacia las asociaciones o fomentando su generación, enfatizando sobretudo el establecimiento de sistemas de riego tecnificados, promoviendo el uso más eficiente de agua y fertilizantes, beneficiando tanto a la agricultura y como al ambiente.

Asimismo sería muy ventajosa una apropiada orientación hacia el cooperativismo en términos del componente étnico predominante también, a fin de permitir un mayor impacto en el aprovechamiento de los recursos bajo sistemas eficientes de economías de escala, lo cual sería muy beneficioso de implementarse, para la comunidad.

Ello ameritaría un componente de investigación y seguimiento tanto en términos productivos como económicos de las estrategias productivas allí desarrolladas, como de la misma forma, entregar capacitación especializada a la ingente cantidad de mano de obra estacional y permanente debido a los puestos de trabajo que efectivamente pudiesen crearse anexos a estas nuevas actividades.

Asimismo, la construcción del embalse pudiera presentar condiciones apropiadas para la agricultura con una moderada inversión para habilitarlas. Ello constituiría un desafío y una oportunidad para las instituciones ligadas al agro en la Región Arica Parinacota, aunque preponderantemente lo sería para los propios agricultores del sector.

7.5 Costos ambientales y posibles impactos

Es interesante destacar dentro del estudio de impacto ambiental la proyección que reza que, de construirse la presa, ésta tendría numerosos impactos positivos, tales como: seguridad de riego, seguridad y plusvalía de los predios ribereños, además de mejoramiento de caminos, entre otros beneficios para los agricultores y la comunidad, siendo mucho mayores los beneficios respecto del posible desmedro en sitios arqueológicos, pérdida de suelos y laderas en la zona de inundación. No obstante, sería del todo aconsejable el que se difundiesen con mayor frecuencia y a cargo de personal especializado las alternativas agronómicas técnicas que propendan al mejoramiento de la agricultura en el Valle de Lluta bajo este nuevo escenario, principalmente entregando un enfoque sustentable a largo plazo y realizar un seguimiento estricto respecto al uso de estas nuevas estrategias productivas, especialmente aquellos relacionados con la repartición del recurso hídrico, tales como marcos partidores, acequias, canales, acequias de distribución, etc.

Desde el punto de vista de la realización de trabajos conducentes a la canalización de las aguas de drenaje, es importante destacar que los estudios que se han revisado especifican que la superficie agrícola beneficiada por las obras de embalse sería ciertamente incrementada, dado que pudieran incorporarse zonas que en la actualidad tiene limitaciones por drenaje, y que a futuro podrían tener

condiciones apropiadas para la realización de actividades agrícolas, no sin realizarse una moderada inversión para habilitarlas. Ello lleva a la reflexión de que sería del todo conveniente establecer un seguimiento, capacitación, planificación y desarrollo de estrategias de asesoría y difusión de las alternativas de inversión factibles de desarrollar ante las nuevas facilidades y cambios que conllevaría un escenario de disminución de las limitaciones por mal drenaje, incremento en la seguridad de riego e incorporación de nuevas superficies agrícolas, aprovechando las ventajas principalmente climáticas que presenta este valle respecto de la zona central. Ello obliga a considerar aspectos anexos que ya se han comentado con antelación como postcosecha de productos hortícolas, industrialización y comercialización.

Es por ello que consideramos absolutamente conveniente establecer una mecánica y frecuencia de seguimiento, además de sistematizarse la información, para tener una estadística actualizada y control de estos parámetros, a fin de realizar los ajustes necesarios ante la utilización del recurso, y sobretodo, más importante aún, difundirlos a la comunidad para que los agricultores tengan acceso a esta investigación de manera transparente, elaborada a partir de muestreos frecuentes en el tiempo, de modo que los usuarios puedan tomar buenas decisiones basadas en información oportuna dispuesta mediante los canales apropiados.

Respecto al estudio reciente de MOP (2004), se observa con preocupación que se atribuye al efecto antrópico y marino el incremento de las concentraciones de cloruros a lo largo del año en ciertos sectores, especialmente en las épocas de primavera, invierno y verano. Se sugiere vigilar de cerca este proceso y sus consecuencias, pues dado que es conocido el efecto nocivo de la intrusión marina en otras áreas del planeta (costa del Mediterráneo, Región de Murcia específicamente), por lo que se sugiere tomar las medidas preventivas para disminuir las posibilidades de un mayor deterioro que pudiese jugar en contra de un posible desmedro de la ya reducida superficie agrícola disponible, incrementando el número de factores limitantes para la actividad agropecuaria.

Debido a la gran relevancia que tiene el desarrollo de sistemas de producción limpia, como una necesidad de cuidar el desarrollo y la sustentabilidad de

los agrosistemas, se sugiere además realizar un seguimiento exhaustivo durante todo el año a parámetros determinantes de contaminación orgánica desde las zonas de conocida injerencia antrópica, para conocer la evolución de los mismos y determinar posibles medidas de control y/o manejo, estacionales o estructurales, de orientación paliativa de sus efectos adversos, de acuerdo a los protocolos establecidos por el Gobierno de Chile para Sistemas de Producción Limpia, evaluándose la presencia de elementos como: aceites y grasas, PCBs; SAAM, fenol, HCAP, HC, tetracloroetano y tolueno, además de realizar lo propio sobre residuos de pesticidas, nitritos y fosfatos, donde entre otros, los más relevantes de seguir y monitorear sus concentraciones y variaciones estacionales serían los plaguicidas orgánicos (OP): ácido 2,4-D, aldicarb, aldrín, atrazina, captán, carbofurano, clordano, clorotalonil, Cyanazina, demetón, DDT, diclofop-metil, dieldrin, dimetoato, heptaclor, lindano, parathion, pentaclorofenol, siazina y trifluralina, asumiendo que un número de estos elementos está cuestionado por sus efectos sobre el ambiente y su persistencia en tejidos liposolubles de mamíferos, por lo cual se monitorea fuertemente la presencia de muchos de ellos dentro de los mercados nacionales y se observan serias restricciones y discontinuidad en su uso para mercados de exportación de productos agropecuarios. Cabe destacar que existen auspiciosos precedentes respecto a los procedimientos y estrategias de plantear un estudio y planes de manejo orientados hacia sistemas de Agricultura Limpia en el vecino Valle de Azapa, por lo cual existen profesionales e instancias de apoyo gubernamental orientados y capacitados para ello, lo cual se ve respaldado aún más debido a que las autoridades del Ministerio de Agricultura han diseñado estrategias definidas para apoyar este tipo de desempeños en beneficio de la sustentabilidad.

Debido a que el agua del río Lluta y sus principales tributarios tienen una contaminación predominantemente de origen natural que se concentra aguas abajo debida a la elevada evaporación sufrida, es que resulta absolutamente plausible considerar el realizar obras de canalización de modo de evitar estas pérdidas, pudiendo contribuir al incremento en la concentración de los elementos salinos.

7.6 Utilización de suelos y aguas con problemas de salinidad

7.6.1 Efecto de las sales solubles sobre el crecimiento de las plantas

Las sales solubles pueden tener dos tipos de efectos sobre la planta en crecimiento: efectos específicos debido a que iones concretos pudieran tener un efecto fitotóxico, y un efecto general debido al incremento de la presión osmótica de la solución sobre las raíces del cultivo.

Los efectos específicos se dividen en dos clases; aquellos que operan a bajas concentraciones y aquellos que operan a altas. De los primeros, las sales de importancia son el carbonato sódico y los boratos solubles. El efecto perjudicial más probable de los carbonatos puede deberse a las consecuencias del alto pH que genera. Muchos nutrientes como fósforo, hierro, cinc y manganeso dejan de estar disponibles para los cultivos a elevados valores de pH. Además, la estructura del suelo tiende a volverse inestable al agua, ocasionando condiciones de baja permeabilidad, mala aireación y un suelo difícilmente manejable. El agua de riego que contiene más de $0,75 \text{ mg L}^{-1}$ de boro debe tratarse con precaución, pues una concentración tan elevada puede afectar el rendimiento de muchos cultivos sensibles, como los cítricos. El agua que contiene 4 a 6 mg L^{-1} restringe la explotación a cultivos tolerantes al boro como algunas variedades de remolacha azucarera, alfalfa, sorgo, algodón y palma datilera. Numerosos cultivos muestran una considerable variabilidad genética en su reacción a las altas concentraciones salinas, por lo que es posible buscar y seleccionar nuevas variedades que sean más tolerantes a tales condiciones. Ello requiere de investigación aplicada y además de verdadero análisis respecto de los costos de producción en tales condiciones.

La salinidad es un estrés ambiental que limita el crecimiento y desarrollo de las especies sensibles (GREENWAY Y MUNNS, 1980) pero promueve el crecimiento de las halófitas incluso a niveles relativamente altos de NaCl. Usualmente existe una concentración umbral sobre la cual ambos grupos comienzan a mostrar signos de cambios anatómicos y morfológicos, decoloración foliar y pérdida de peso seco.

Según (MARSCHNER, 1985) existen tres restricciones principales para el crecimiento de las plantas sobre sustratos salinos:

- Estrés hídrico (deshidratación), derivado del bajo (más negativo) potencial hídrico del medio radicular.
- Toxicidad iónica asociada con la absorción excesiva principalmente de Cl^- y Na^+ .
- Desequilibrio nutricional debido a la disminución de la absorción y/o en el transporte hacia la parte aérea y la alteración en la distribución interna de nutrientes minerales, principalmente calcio.

La contribución relativa de cada uno de estos tres efectos a la inhibición del crecimiento en un ambiente altamente salino con frecuencia no puede delimitarse, debido a que existen muchos más factores involucrados, tales como concentración iónica y sus relaciones con el sustrato, duración de la exposición al estrés, especie de planta, cultivar, estado de desarrollo de la planta, órgano de la misma y condiciones ambientales.

Según (MAAS 1986), la tolerancia de las plantas a la salinidad puede apreciarse mediante uno de estos tres factores:

- La habilidad de las plantas para sobrevivir sobre sales solubles.
- El crecimiento o rendimiento absoluto, y,
- El crecimiento o rendimiento relativo de suelos salinos con respecto a suelos no salinos. Maas (1986), propone el siguiente esquema y fórmula:

$$Y = 100 - b (CEe-a)$$

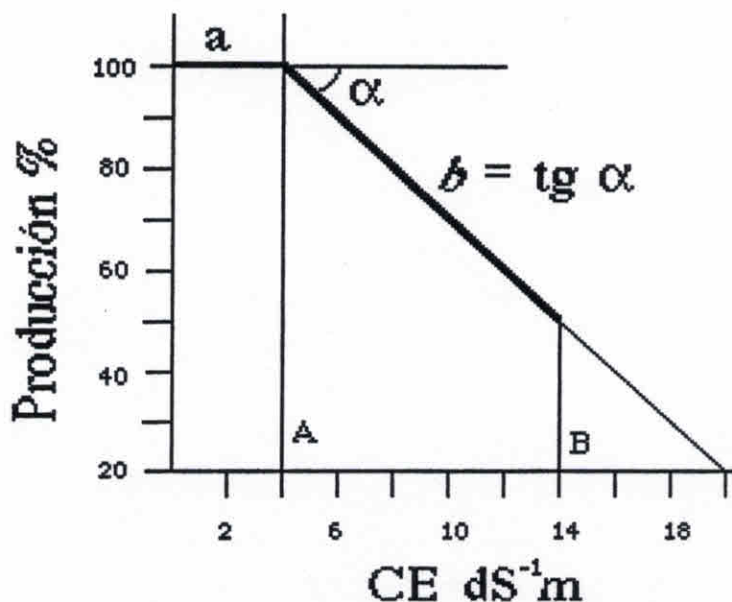
Donde:

Y= rendimiento relativo

b= pendiente: porcentaje de disminución del rendimiento por cada unidad de sales de incremento (%)

a = umbral de tolerancia de sales por cultivo (dS/m) CE_a = conductividad eléctrica del suelo (dS/m)

Figura 7.1 Respuesta de los cultivos a la salinidad (Maas y Hofmann, En Maas, 1984)



En la tabla 7.1 se presenta el rendimiento de diferentes cultivos versus la conductividad eléctrica del agua de riego, antecedentes que permitieron definir las ecuaciones para poder estimar la reducción del rendimiento por efecto de la salinidad del agua de riego en los cultivos del valle, estas ecuaciones se presentan en la tabla 7.2

Tabla 7.1 Rendimiento de diferentes cultivos versus conductividad eléctrica del agua de riego

| Cultivo | % del rendimiento máximo | | | | |
|--|-----------------------------|-----|-----|------|------|
| | 100 | 90 | 75 | 50 | 0 |
| | C.E. del agua de riego dS/m | | | | |
| Maíz (<i>Zea mays</i> L) <i>amiláceo</i> , | 1.1 | 1.7 | 2.5 | 3.9 | 10.0 |
| Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L) | 0.9 | 1.4 | 2.1 | 3.4 | 9.0 |
| Cebolla (<i>Allium cepa</i> L.) | 0.8 | 1.2 | 1.8 | 2.9 | 7.5 |
| Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) | 1.3 | 2.2 | 3.6 | 5.9 | 15.5 |
| Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) | 1.7 | 2.3 | 3.4 | 5.0 | 8.4 |
| Beterraga (<i>Beta vulgaris</i> L.) | 2.7 | 3.4 | 4.3 | 6.4 | 15.0 |
| Brocoli (<i>Brassica oleracea botrytis</i>) | 1.9 | 2.6 | 3.7 | 5.5 | 13.5 |
| Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>) | 1.3 | 2.2 | 3.5 | 5.7 | 15.0 |
| Palma Datilera (<i>Phoenix dactylifera</i>) | 2.7 | 4.5 | 7.3 | 12.0 | 32.0 |
| Habas (<i>Vicia faba</i>) | 1.1 | 1.8 | 2.0 | 4.5 | 12.0 |
| Granada (<i>Punica granatum</i>) | 1.8 | 2.6 | 3.7 | 5.6 | 14.0 |

Fuente: FAO 1987

Tabla 7.2 Ecuaciones para estimar la reducción de rendimiento por efecto de la salinidad del agua de riego

| Cultivo | Rendimiento en % = | r ² |
|----------------|--------------------------|----------------|
| Maíz | 104.00 – (10,883 * C.E.) | 0.962 |
| Tomate | 124,94 – (14,889 * C.E.) | 0.999 |
| Cebolla - Ajo | 103,86 – (14,387* C.E) | 0.962 |
| Lechuga | 102,96 – (11,894 * C.E) | 0.959 |
| Habas | 100.00 - (8,645 * C.E.) | 0.950 |
| Palma Datilera | 101,62 – (3,301 * C.E.) | 0.963 |
| Espinaca | 102,23 – (7,081 * C.E.) | 0.965 |
| Brócoli | 108,26 - (8,320 * C.E) | 0.961 |
| Betarraga | 112,40 - (7,767 * C.E.) | 0.956 |
| Granado | 106,91 – (7,927 *C.E.) | 0.961 |

Fuente: Jiménez P. , M. 2008

Utilizando las ecuaciones de la tabla 7.2 y la salinidad total del agua de riego indicada en la tabla 3.4 se estimó el rendimiento relativo que se puede obtener en los cultivos seleccionados para el Valle de Lluta, lo cual se presentan en la tabla 7.3, la parte alta, media y baja corresponde a la misma área definida para la tabla 3.4

Tabla 7.3 Rendimiento relativo de los cultivos en el Valle de Lluta

| Cultivo | Parte alta | Parte media | Parte baja |
|-------------|-------------------------|-------------|------------|
| | % de rendimiento máximo | | |
| Maíz | 80,85 | 69,75 | 44,93 |
| Cebolla ajo | 72,21 | 57,53 | 24,73 |
| Lechuga | 76,79 | 64,66 | 37,54 |
| Alfalfa | 86,91 | 79,94 | 64,36 |
| Betarraga | 95,32 | 87,40 | 69,70 |
| Brócoli | 89,96 | 81,47 | 62,50 |
| Espinaca | 86,65 | 79,43 | 63,28 |
| Datilera | 94,36 | 90,99 | 83,46 |
| Habas | 80,98 | 72,16 | 52,45 |
| Granado | 89,47 | 81,39 | 63,31 |
| Tomate | 92,18 | 77,00 | 43,05 |

Fuente: Jiménez P. , M. 2008

Según los resultados presentados en la tabla 7.3, en los tres sectores del valle sería posible aumentar los rendimientos de los cultivos a través de la disminución de la Conductividad Eléctrica del agua de riego.

Al comparar el rendimiento que logran algunos agricultores de la parte baja del valle con el rendimiento relativo posible de lograr según la salinidad del agua de riego que se indica en la tabla 3.4, es posible inferir que el problema de los bajos rendimientos de los cultivos en el Valle de Lluta no pueden ser solo atribuidos a

la salinidad total ; al respecto , (BROWN, P. H. et al 2002) reporta que el rendimiento en tomate regado con agua con sales pero bajo contenido de boro (0,7 ppm), fue superior el que se logra con agua con sales y con niveles altos de boro (7 ppm). Esto permite concluir que un factor limitante y de alta relevancia para la producción de los cultivos en el valle de Lluta, es el alto contenido de boro en el agua de riego lo que permite situar al valle de Lluta en un área del mayor interés para el estudio de esta temática.

7.7 Aproximación de soluciones

La utilización de suelos y aguas con problemas de salinidad se puede lograr según Epstein 1980 , mediante las siguientes estrategias complementarias

A. Tecnológicas, que modifiquen las condiciones adversas, ya sean mejorando las técnicas de riego, desarrollando sistemas de drenaje para eliminar las sales o utilizando aguas de mejor calidad, dentro de las cuales caben señalar posibles alternativas para el desarrollo de la agricultura en los sectores más favorecidos del valle de Lluta como :

1. Mejoramiento de la calidad del agua mediante el desvío de los afluentes del Lluta que se ha detectado proveen de una alta carga de B y de compuestos sulfurados, evitando así un incremento en los niveles de salinidad y una mayor disminución del pH.
2. Optimización de los sistemas de drenaje que provocan un retorno de las aguas excedentes de riego, las que se reciclan hacia el caudal del río, provocando si bien un incremento en el volumen del recurso hídrico, son causal de un notable desmedro en la calidad del agua.
3. Utilización de medidas de abatimiento del B, que permitan la disminución de las concentraciones de este elemento, mejorando las características del agua. Existen alternativas como las resinas de intercambio catiónico, sin embargo debe preverse su utilización para

grandes caudales y el tratamiento posterior de la resina para su reutilización, los costos de implementación de tal medida, además de vigilarse el destino de los remanentes y su posible impacto ambiental.

4. Control de los niveles de salinidad mediante el sistema de lavado o aplicación de excesos de agua de riego: Dependiendo de la posibilidad de mejoramiento de la calidad del agua de riego, pudiera evaluarse su implementación, pues esta metodología puede ser muy útil en condiciones donde los agrosistemas son marginal o moderadamente afectados por salinidad para mantener o mejorar las condiciones de crecimiento de los cultivos, aunque implica destinar un cierto volumen de agua de buena calidad al mejoramiento de las condiciones químicas del suelo, lo cual debe necesariamente concatenarse con medidas productivas que justifiquen esta inversión.

Se debe evaluar técnica y económicamente la factibilidad de llevar a cabo estas medidas, especialmente lo referido a su impacto en el mediano y largo plazo. La elección de técnicas de manejo para utilizar suelos afectados por salinidad depende de la naturaleza como de la extensión del problema, costos y recursos disponibles. Si la productividad es severamente afectada, los métodos de recuperación deberían considerarse, aun cuando es evidente que los problemas probablemente reaparecerán si existen cambios en el sistema de cultivo o no existe tratamiento de aguas. En este caso, en el cual la productividad ha sido históricamente afectada, tanto el componente social como económico son relevantes, debido a la gran cantidad de mano de obra estacional y a que los pequeños propietarios que dependen de la actividad agrícola del valle de Lluta.

B. Biológicas.- que incidan sobre los cultivos, mediante el uso de la variabilidad de las plantas y su manipulación genética, para obtener variedades de interés agronómico adaptadas a estas condiciones marginales.

1.- Aumento de tolerancia a salinidad de los cultivos: Si bien es una medida necesaria para sustentar la producción de alimentos en muchas partes del mundo, se considera en la agricultura de riego que el mejoramiento de la tolerancia a la salinidad de los cultivos puede disminuir los requerimientos de lavado del suelo, y también puede disminuir los costos de un sistema de irrigación, pero debe considerar los costos de disponer de agua menos salina y deshacerse del agua salina (Pitman y Lauchli, 2002). Ello implica necesariamente un mejoramiento de la calidad del agua, aunado al establecimiento de variedades tolerantes a las condiciones de estrés presentes, como asimismo de disponer de un buen sistema de drenaje.

2.- Selección de genotipos: El problema de seleccionar genotipos en un ambiente determinado puede desembocar en no seleccionar el genotipo correcto para un ambiente diferente. Las condiciones de campo pueden variar en cada sitio, no sólo en la salinidad del suelo, sino además en las condiciones físicas del mismo y en propiedades químicas como sodicidad, elevado pH, y posiblemente elementos traza tóxicos como boro (Rengasamy, 2002). Estos antecedentes llevan a considerar si bien como una muy interesante posibilidad de investigación y experimentación esta alternativa para las instituciones pertinentes, no es menos cierto que las soluciones factibles de desarrollarse pueden tardar en implementarse necesariamente en las condiciones de campo. Asimismo el costo de llevarlas a cabo tal vez pudiera volverlas poco interesantes en un corto plazo.

Es claro que los mecanismos fisiológicos que permanecen detrás de los rasgos de tolerancia a la salinidad pueden ser usados para identificar nuevas fuentes de tolerancia a la salinidad. Importantes mecanismos de tolerancia a la salinidad involucren la exclusión de Na^+ , desde el flujo transpiratorio, secuestro de Na^+ y Cl^- en las vacuolas de las raíces y células foliares, además de otros procesos que promueven un rápido

crecimiento a pesar del estrés osmótico salino presente fuera de las raíces. Se requieren herramientas fenotípicas precisas, las cuales son imprescindibles para hallar e introducir nuevos genes de tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas (Flowers, 2006)

En las tierras áridas, el mejoramiento de la tolerancia a la salinidad puede incrementar las cosechas en los suelos salinos. En áreas donde hay poca precipitación y las sales permanecen en el subsuelo, el incremento de la tolerancia a la salinidad puede ayudar a las plantas a absorber más agua. La tolerancia a la salinidad puede mostrar un gran impacto en cultivos creciendo en suelos con salinidad natural, siempre que las otras limitantes agronómicas se hayan superado (por ejemplo, resistencia a enfermedades y deficiencias nutricionales), asimismo la salinidad del subsuelo permanece como la mayor limitación para la agricultura en todas las zonas semiáridas. Sólo las halófitas (plantas adaptadas a hábitats salinos) continuará creciendo a salinidades por sobre 250 mM NaCl. *Atriplex* (*Atriplex spp.*) es muy tolerante a la salinidad, y puede disminuir napas freáticas que han alcanzado la superficie, restaurando el terreno salino para producción animal (BARRETT-LENNARD, 2002).

C. Nutricionales.- La utilización de aguas salinas para riego en zonas semiáridas del mundo obliga a realizar algunos ajustes en la proporción o composición de los nutrientes a fin de facilitar el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos (GREENWAY Y MUNNS, 1980).

Las plantas sometidas a salinidad disminuyen su crecimiento y producción debido a una modificación de los procesos de transporte de nutrientes en la planta, el cual redundará en una alteración del estado nutricional y equilibrio iónico de los tejidos. Este desequilibrio nutricional puede ser de mayor o menor grado dependiendo de las condiciones ambientales, del grado de salinidad, de la especie y del cultivar.

Sin embargo, el efecto negativo de la salinidad en la producción de biomasa puede ser minimizado por el uso de soluciones nutritivas que

contengan una mayor concentración de amonio. Se ha observado que este efecto parece correlacionarse con el incremento en la asimilación de N producida a alta concentración de NH_4^+ bajo condiciones salinas en plantas de tomate (FLORES Y COL, 2001).

Por otro lado, (CARVAJAL Y COL, 2000) ha observado que apropiadas proporciones de actividad catiónica en la zona radicular de las plantas que crecen en las zonas salinas producen un aumento de la biomasa de la planta. La restauración de la producción mediante el tratamiento con cationes podría alcanzarse mediante el uso de otros iones para el ajuste osmótico, eliminando de esta manera el efecto tóxico de la excesiva acumulación de Cl^- o Na^+ .

Una aplicación extra de calcio puede dar lugar a paliar en gran medida los efectos negativos de la salinidad sobre algunas plantas de interés hortícola como melón o pimiento (CABAÑERO et al, 2004), se supone que el calcio está jugando un papel fundamental en la adaptación del calcio a la salinidad, bien a nivel molecular o bien está implicado en la mejora de las relaciones hídricas de la planta, en la absorción de agua y nutrientes por parte de las raíces (CARVAJAL et al, 2004).

Los efectos negativos de la salinidad podrían paliarse con una adecuada optimización de la nutrición de las plantas. Sin embargo, debe estudiarse detenidamente cada caso, ya que el utilizar una estrategia determinada depende de las condiciones del cultivo, de la especie a cultivar y sobretodo, del grado de salinidad del agua que se disponga para el riego.

Ello debe estar consecuentemente aunado a la utilización de las herramientas tanto biológicas (utilización de variabilidad genética y obtención de variedades adaptadas) como asimismo nutricionales, optimizando los sistemas de fertilización, preferentemente dentro de un sistema basado en criterios agronómicos, como es el de balances nutricionales y el de equilibrios iónicos a fin de favorecer la tolerancia y la producción de las plantas en condiciones de salinidad, aunque tal como se ha mencionado, se espera un mejoramiento sustancial de la calidad del agua.

A ello deberían sumarse todas las medidas tanto biológicas, como nutricionales y tecnológicas de manera de hallar una solución consensuada y que beneficie a la comunidad de agricultores del Valle de Lluta, propendiendo a la generación de un sistema productivo sustentable y rentable.

El contenido de sales se estima por medio de la conductividad eléctrica (CE); concentraciones elevadas en la solución del suelo originan disminución en la disponibilidad de agua en la zona radical con la consiguiente reducción de rendimientos debida a su efecto osmótico. La presencia de sodio intercambiable crea condiciones de inestabilidad de los agregados del suelo y del sistema poroso, el hinchamiento y la dispersión coloidal restringen la permeabilidad del suelo al agua y a los gases, y conduce consecuentemente a problemas de anegamiento, encostramiento, escurrimiento y pobre aireación (SO H.B y L.A.G. AYLMOORE, 1993 , LEVY, G. et al 2005)

El uso de agua con un alto contenido salino genera una acumulación en el perfil de suelo, lo que depende de las características físicas de este como lo es la textura y la condición de drenaje (EL-SWAIFY, S. 2000).

El efecto inicial y primario de la salinidad, especialmente a concentraciones bajas y moderadas, es debido a efectos osmóticos (MUNNS R. y TERMAAT A. 1986, JACOBY, B. 1994) lo que determina una disminución de la capacidad para absorber agua del medio Este escenario ambiental determina que la planta gaste mayor energía para realizar los ajustes osmóticos necesarios para obtener esta agua. Como consecuencia de este desajuste se produce una disminución de la tasa de crecimiento y alteraciones en el color de las hojas, de la relación parte aérea / raíz y también en la maduración de los frutos (MUNNS R. y TERMAAT A. 1986, SHANNON, M. y GRIEVE C. 1999) También se desencadenan desequilibrios iónicos en las plantas por la excesiva absorción de sodio y cloruros, los que generan efectos secundarios como problemas de toxicidad y nutricionales vinculados a la absorción de iones esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (YOKOI, S. et al 2002 ,SACALA. E.2008) indican que las plantas expuestas a

estrés osmótico, presentan cambios en su fisiología y metabolismo; en general, el estrés osmótico reduce la disponibilidad de agua y provoca desequilibrio nutricional en las plantas con una grave disminución de la concentración de nitratos.

Para realizar una agricultura más rentable y utilizar las excelentes condiciones climáticas del Valle de Lluta es necesario manejar los efectos negativos de la salinidad del agua y del suelo a través de diferentes prácticas de manejo como por ejemplo el lavado de suelos

La cantidad de agua de lavado y el lapso de tiempo que se requiere dependen de la profundidad del suelo a ser recuperado, nivel de salinidad inicial, tipo de sales presentes y características del suelo, tales como textura, estructura, infiltración y permeabilidad (SO H.B y L. A.G. AYLMOORE, 1993).

El proceso de lixiviación de cada uno de los iones depende de su solubilidad, por ejemplo los cloruros prácticamente son removidos con los primeros efluentes, para al final del proceso extraerse una mínima cantidad, en cambio en el caso de los carbonatos al inicio se extrae una cantidad muy pequeña, incluso en ocasiones no detectables, incrementándose paulatinamente conforme avanza el lavado. (GOBRAN G. R. et al 1982, KOSMAS, C. y MOUSTAKAS 1990 y FRENKEL. H. et al 1989)

La condición de drenaje de los suelos de la parte media y baja del valle de Lluta dificulta el uso de esta técnica como una alternativa para disminuir la concentración salina, por lo tanto es fundamental re-diseñar y construir una nueva red drenaje que remplace a la construida en la década de los 60 por el Estado de Chile.

Sobre la base de lo expuesto se proponen las siguientes soluciones para enfrentar el desafío de la agricultura en el valle de Lluta, como al mismo tiempo se indican los posibles inconvenientes de dicha acción:

7.7.1 Crear y establecer cultivos resistentes a las condiciones del Valle de Lluta. Esta solución puede presentar los siguientes inconvenientes:

- El actual balance salino de los suelos que presentan problemas de drenaje permite estimar un aumento de salinidad en forma permanente, con lo cual los suelos alcanzarán rápidamente los niveles máximos de salinidad que puedan tolerar esos nuevos cultivos.
- Es necesario mejorar el sistema de drenaje de los suelos para garantizar la lixiviación de sales y de esa forma mejorar el balance salino, donde se requeriría implementar las medidas propuestas por el estudio encargado por el MOP al respecto.

7.7.2 Mejoramiento de la calidad química del agua de riego. Se pueden considerar las siguientes opciones:

- Evitar los tributarios que contaminan al río Lluta, es decir los ríos Azufre y Colpitas, lo que implica la construcción de obras civiles de alto costo, el funcionamiento de las obras generaría una disminución importante, del orden del 35% en la actual disponibilidad de agua. (Ver tabla 3.1)
- Captar agua adicional en la cabecera de la cuenca a través del desvío de cauces naturales. Esto presenta el inconveniente de que actualmente esa agua, es utilizada por las comunidades alto andinas en el riego de bofedales y además, es compartida con Perú y/o Bolivia.
- Mejorar la conducción y distribución del agua en la zona de riego del valle, es decir, evitar que las aguas de riego se mezclen con las aguas de drenaje y de derrame de las parcelas como ocurre en la actualidad al usar el río como un canal principal del cual nacen los canales derivados. La medida consiste en la construcción de un canal matriz que capte las aguas de riego en la parte alta del valle, al inicio de la

zona de riego, en donde el agua presenta una menor carga de sales, desde este canal matriz, distribuir el agua a través de canales derivados a cada sector de riego. Esta opción permitiría a los agricultores del sector medio y bajo regar con agua de mejor calidad.

- Eliminar los contaminantes del agua de riego. Esta solución es técnicamente posible pero requiere de la inversión en una planta de tratamiento, sea esta por osmosis inversa y/o tratamiento en columnas de intercambio; decisión que esta ligada a los niveles de producción que se puedan alcanzar con el agua producida.

En la tabla 7.4 se resumen las medidas propuestas para el mejoramiento de la actividad agrícola en le valle de Lluta:

Tabla 7.4 Medidas propuestas para el mejoramiento de la actividad agrícola en el Valle de Lluta

| Categoría | Medida |
|-----------|---|
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> -Mejorar la preparación del suelo para el riego -Mejorar la distribución del agua -Mejorar la infiltración del agua en el suelo y evitar perdidas por escorrentía -Implementación de sistemas de riego mecánico de alta frecuencia -Aplicar los conceptos de Buenas Practicas Agrícolas -Generar información sobre la demanda hídrica real de los cultivos -Establecer los requerimientos de lixiviación para los cultivos del valle -Generar información local sobre el efecto de la salinidad en el rendimiento de los cultivos -Uso de sustratos (inertes u orgánicos) para la producción hortícola -Incorporación de los cultivos cubiertos. |
| Gestión | <ul style="list-style-type: none"> -Eliminar los altos contenidos de boro del agua de riego a nivel del predio a través de intercambiadores específicos. -Aplicación de agua en momentos esenciales para la productividad. |

| | |
|----------------------|---|
| | <p>-Construcción de un canal matriz y red de canales derivados</p> <p>-La construcción de un embalse que permita el control de las crecidas del río producidas por las precipitaciones que ocurren en la zona de precordillera y altiplano durante los meses de verano.</p> <p>-Materialización de las obras recomendadas en los estudios para la desviación de las aguas de los tributarios responsables de la mayor contaminación, por ejemplo río Colpitas y río Azufre, y cuantificación de la disminución en la disponibilidad actual de agua</p> <p>-Construcción de una nueva red de drenaje</p> |
| Gestión | <p>-Reciclaje del agua de drenaje</p> <p>-Gestionar un sistema de asesoramiento al agricultor permanente</p> |
| Institucional | <p>-Establecer organizaciones de usuarios del agua para involucrar en la toma de decisiones a agricultores y establecer un sistema de impuestos por mala o exceso utilización del agua.</p> <p>-Reducir los subsidios/ayudas por riego e introducir medidas de conservación relacionados con el coste real del agua</p> <p>-Establecer un marco legal para readecuar el mercado del agua, que este sea justo y real</p> <p>-Establecer más infraestructura legal para el sector privado para la distribución de tecnología.</p> <p>-Mayor formación técnica a los agricultores</p> |
| Agronómica | <p>-Selección de variedades de cultivo adecuados para las condiciones particulares del Valle de Lluta</p> <p>-Cultivos adecuados en función de las condiciones climáticas, cantidad y calidad del agua disponible</p> <p>-Seleccionar cultivos resistentes a las condiciones de alta salinidad y baja disponibilidad hídrica</p> <p>-Implementación de planes para el manejo de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riego • Fertilización • Fitosanitario |

Las principales líneas de investigación propuestas son:

1. Suelos y riego

- Desarrollo de tecnologías generales:
 - mejoramiento de suelos salino-sódicos con métodos químicos y biológicos;
 - mejoramiento de suelos con distintos métodos de riego y enmiendas
 - evaluación y adecuación de distintos métodos de riego y drenaje.
 - necesidades hídricas de los cultivos
 - frecuencia del riego
 - riego deficitario
 - mejoramiento de las características físicas de los suelos
 - requerimientos nutricionales de cultivos

2. Horticultura

- Intensificación de la producción hortícola en el campo:
 - incorporación y evaluación de especies de aptitud exportable (acelga, (*Beta vulgaris var. cicla L.*) ;cebolla (*Allium cepa L.*) , ajo (*Allium sativum L.*) , brócoli (*Brassica oleracea var. italica*) , repollo (*Brassica oleracea, var. Capitata*) , betarraga (*Beta vulgaris var. hortensis L.*),coliflor (*Brassica oleracea, var. Botrytis*) , espárragos (*Asparagus officinalis L.*) , Lechuga (*Lactuca sativa L.*) y otras.
 - producción de semilla
 - evaluación de distintas técnicas de manejo del cultivo; sistemas de siembra, riego, fertilización, etcétera;
 - desarrollo de estrategias de control de plagas y enfermedades;
 - desarrollo de tecnologías productivas, especies de uso industrial maíz (*Zea maiz L.*) , espárragos (*Asparagus officinalis L.*) , brócoli (*Brassica*

oleracea var. Italica), cebolla (*Allium cepa L.*), repollo (*Brassica oleracea, var. Capitata*), y otros.

- desarrollo de tecnologías de postcosecha para fresco e industria, acondicionado, conservación y transporte.
- Producción bajo cubierta:
 - desarrollo y evaluación de distintos tipos de estructuras y estudio de comportamiento varietal y manejo;
 - determinación de combinaciones de cultivos y control de plagas y enfermedades; y
 - determinación de técnicas de forzado.

3. Forrajeras

- Evaluación de variedades de alfalfa para corte Manejo, riego, fertilización y tecnología adecuada para producción de forraje.
- Procesamiento industrial de alfalfa (*Medicago sativa L.*) para producción de alimentos de alta calidad, para usos especiales.
- Evaluación de distintos cultivares de especies forrajeras y desarrollo de métodos para la producción de semillas.

4. Diversificación

- Desarrollo de alternativas productivas de alto valor; floricultura, producción de hongos, aromáticas, ornamentales, medicinales, etcétera.

5. Economía y mercados

- Determinación de mercados actuales y potenciales; caracterización de la demanda.
- Determinación de las condiciones necesarias para acceder a los distintos mercados respecto a: distintos productos, tipificación, condiciones sanitarias y calidad, acondicionamiento, empaque y estacionalidad.
- Instrumentación de sistemas de información de precios y mercados.

8. Conclusiones

8.1 Obtener una caracterización de la situación actual de la agricultura en el valle de Lluta, en función de la cantidad y calidad del agua de riego, así como de su variabilidad temporal y espacial.

Respecto a este objetivo planteamos las siguientes conclusiones :

La actividad agrícola que se desarrolla en el valle de Lluta según el tamaño de la propiedad, el más recurrente está en el rango de 0,1 a 3,0 ha, caracteriza la actividad agrícola local como una pequeña agricultura o agricultura familiar campesina.

La disponibilidad de agua presenta una estacionalidad , definida por las precipitaciones que ocurren en la cavecera de la cuenca , esto se traduce en que sólo una parte de la superficie agrícola del valle es ocupada por cultivos durante el año.

Los constituyentes químicos también presentan una variación estacional , alcanzando valores máximos en la época de primavera verano . Al mismo tiempo existen variaciones en la cantidad de los constituyentes químicos a lo largo de la zona de riego , se presentan valores menores en la parte alta , estos aumentan hacia la parte baja en la medida que el río recibe el agua de los drenes que se encuentran en funcionamiento y el derrame del riego

La diversidad de cultivos se ve altamente restringida por la calidad del agua de riego, el principal lo representa el nivel de boro en el agua

Los niveles de producción de los cultivos existentes se ve afectada por la calidad del agua de riego.

El problema del bajo rendimiento de los cultivos en el Valle de Lluta no pueden ser solo atribuidos a la salinidad total

La baja productividad de los actuales cultivos causa una baja rentabilidad en la actividad agrícola, lo que genera una baja inversión lo cual hace que en el valle de Lluta exista una mínima oferta de empleo, lo cual genera un escaso desarrollo tecnológico e incidencia en la economía regional

8.2 Análisis crítico de iniciativas realizadas por medio del manejo agronómico, en cultivos sensibles a la calidad del agua del río Lluta.

Respecto a este objetivo planteamos las siguientes conclusiones:

Existe escasa información sobre manejo de cultivos bajo condiciones salinas validada en la zona

Aunque los recursos naturales del valle de Lluta son una importante limitante para la explotación de cultivos hortícolas rentables, existen agricultores emprendedores que se atreven a innovar con nuevas alternativas de cultivos .

El empleo de nuevas tecnologías que contribuyen a mitigar el efecto de la salinidad del agua de riego y al mejoramiento de la productividad, son subutilizadas por los agricultores.

Un significativo remedial de la subutilización de nuevas tecnologías es la transferencia tecnológica orientada al manejo de estas, de tal forma que los esfuerzos innovadores y financieros de los agricultores logren resultados que les permitan mejorar la productividad.

Los agricultores mayoritariamente consideran al riego y otras tecnologías como la aplicación de pesticidas, fertilización, uso de maquinaria , dentro de la innovación en el proceso productivo,

8.3 Recopilar y sistematizar la opinión de los agricultores, respecto de posibles medidas destinadas a mejorar la situación del Valle de Lluta, en el corto, mediano y largo plazo.

Respecto a este objetivo planteamos las siguientes conclusiones:

Los agricultores se manifiestan mayoritariamente dispuestos en participar en el financiamiento de obras mejoren la seguridad de riego como lo es la construcción del embalse Chironta

Los agricultores le asignan importancia a la capacitación, y están dispuestos a cofinanciar con el estado programas de capacitación

Los agricultores están dispuestos a continuar con la incorporación de tecnología en sus explotaciones.

9. BIBLIOGRAFIA

- Albornoz, H; Torres, A; Tapia, ML, Acevedo, E. 2007. Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)hidropónico con agua desalinizada y desborificada en el valle de Lluta. IDESIA.25 (2): 73-80.
- AliDinar H, Ebert G, Ludders P. 1999. Growth, chlorophyll content, photosynthesis and water relations in guava (*Psidium guajava* L.) under salinity and different nitrogen supply. Gartenbauwissenschaft 64: 54–59.
- Almasoum A.A.2000. effect of planting depht on growth and productivity of tomatoes using drip irrigation with semi saline water. ISHS. Acta Horticulturae 537. III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops
- Alpaslan, M, Gunes, A. 2001. Interactive effects of boron and salinity stressonthe growth,membrana permeability and mineral composition of tomato and cucumber plants. Plant soil 236. 123-128.
- Amezqueta, E. 2007. Use of an electromagnetic technique to determine sodicity in saline-sodic soils. Soil and use management .23:278-285
- Ayers, RS, Wescot. OW. 1987. La calidad el agua en la agricultura. Estudio FAO, Riego y Drenaje 29.
- Barrett-Lennard EG. 2003. The interaction between waterlogging ans salinity in higher plants: causes, consequences and implications. Plant and Soil, 253:35-54.
- Bayuelo-Jiménez J, Debouck D, Lynch J. 2003. Growth, gas exchange, water relations, and ion composition of Phaseolus species grown under saline conditions. Field Crops Res. 80: 207-202.

Brown PH, Bellaloui N, Wimmer MA, Bassil ES, Ruiz J et al 2002. Boron in planta biology. *Plant Biology* 4:205-223.

Campos H, Díaz G, Campos C. 2007. Aportes sedimentarios de los ríos Lluta y San José en la zona costera de la rada de Arica, Chile. *Idesia*. 25 (2)37-48.

Campos H, Díaz G, Campos C. 2007. Aportes Sedimentarios de los ríos Lluta y San José en la zona costera de la rada de Arica, Chile. *Idesia*. 25 (2)37-48.

Carvajal M, López Bereguer C, Cabañero FJ, Silva C. 2004. Optimización de la nutrición de los cultivos en condiciones salinas. *Vida Rural* 32-37..

CEAZA, 2006. Memoria del primer trimestre 2006. La Serena, Chile, 60 p.

Chartzoulakis K y Klapaki G. 2000. Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Horti*. 86: 247-260.

Dirección General de aguas (D.G.A.)2004. Diagnóstico y clasificación de cursos y cuerpos de agua según objetivos de Calidad. Cuenca del río Lluta.

De la Riva, F y Sotomayor, E.1979. Caracterización física y estatus de fertilidad de algunos suelos del valle de Lluta. *Idesia*.5.265-275.

Dannel, F Pfeffer H, Romheld V. 2002. Update of boron in higher plants- uptake, primary translocation and compartmentation. *Plant Biology* 4:193-204.

Doussoulin, E y Quezada, C. 2008. "Manejo de suelos en zonas áridas", Cap 2. Suelos en la región desértica de Chile. Eds: Quezada C, Sandoval M y Zagal, E. 22-30.

Eisler, R. 1990. Boron Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review. U.S. Fish Wildl. Serv., Biol. Rep. 85(1.20). Washington, DC

Eraslan F., Inal A., Savasturk O., Gunes A. 2007. Changes in antioxidative system and membrane damage of lettuce in response to salinity and boron toxicity. *Scientia Horticulturae*, 114 (1), pp. 5-10.

Evangelou, V.P. 1994. Influence of sodium on soils of humid regions. En: Handbook of Plant and Crop Stress (M. Pessarakli, ed) Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 31-62.

Epstein E. 1980. Responses of plants to saline environment. In: "Genetic engineering of osmorregulation". Rains D, Valentine R, Hollaender A. eds. Plenum Press, New York. 7-21.

Figueroa L.; Cornejo L.; Lima.; 2006. Formas del boro en el suelo aridisol y aluvial del valle de Lluta, Arica, Chile. *Agrochimica* . 50: 89-97

Flowers, T.J.; Hajibagheri, M.A. y Yeo, A.R. 1991. Ion accumulation in the cell walls of rice plants growing under saline conditions: evidence for the Oertli hypothesis. *Plant, Cell and Environment*, 14, 319-325.

Flowers, T.J. 2006. Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*. Vol 55, N° 396:307-319.

Gorham J. 1994. Salt tolerance in the Triticeae: K/Na discrimination in some perennial wheat grasses and their amphiploids with wheat. *J. Exp. Bot.* 45: 441-447.

Grattan , S.R. y Grieve, C.M. 1999. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. En: Handbook of Plant and Crop Stress (M. Pessarakli, ed) Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 203-226.

Grieve, C Poss, JA.2000. Wheat response to interactive effects of boron and salinity. *J. Plant Nutr.* 23.1217-1226.

- Greenway H, Munns R. 1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 31: 149-190.
- Gunes,A. Inal, A, Bagci, EG, Pilbeam, DJ. 2007. Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic-B toxic soil. *Plant Soil.* 290. 103-114.
- Gupta UC,James YW, CambellCA, Leyshonn AJ, Nicholaichuck W (1985): boron toxicity and deficiency: areview. *Can. J. Soil Sci.*,65:381-409.
- Hernández J, Olmos E, Corpas F, Sevilla F, del Río L. 1995. Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plants. *Plant Sci.* 105: 151-167.
- Horne, AJ,Goldman, CR.1994- *Limnology*. McGraw-Hill,inc.
- INDERCO, 1980."Estudio de la red de drenaje del valle del río Lluta" DGA. Ministerio de Obras Públicas.
- INGENDESA.1994.Consultoría Dep- 012. "Análisis Descontaminación y Embalse en el río Lluta" I parte-drenaje. Dirección de Riego, Ministerio de Obras Públicas.
- INGENDESA.2008.Consultoría ."informe final: Estudio de factibilidad para los embalses de Azapa y Lluta". Dirección de Riego, Ministerio de Obras Públicas.
- IREN,.1976."Inventario de Recursos Naturales por método de percepción del satélite Landsat IRegión –Tarapacá". Convenio IREN-SERPLAC.
- Jacoby, B. 1994. Mechanisms involved in salt tolerance in plants. En: *Handbook of Plant and Crop Stress* (M. Pessarakli, ed) Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 97-123.

Japan International Cooperation Agency. JICA. 1995. The study on the development of water resources in the northern Chile. Main Report, supporting Report A: Surface Water. Pacific consultants International. Tokyo, Japan.

Jiménez P., M. 2008 El recurso hídrico en el valle de Lluta. Tesis Ingeniero Agrónomo .Universidad Santo Tomás. Arica. Chile

Karabal, E., Yucel M, Okte, HA. 2003. Antioxidants response of tolerant and sensitive barley cultivars to boron toxicity. *Plant science* 164:925-933.

Läuchli A, 2002. Functions of Boron in Higher Plants: Recent Advances and Open Questions. *Plant biol (Stuttg)* 2002; 4: 190-192

Leonardi C, Martorana M, Guiffrida F, FoglianoV, Pernice R. 2004. Tomato fruit quality in relation to the content of sodium chloride in the nutrient solution. *Acta Horticulturae (659)*: 769-774.

Levy G.J., Goldstein D. and A.I. Mamedov, Saturated hydraulic conductivity of semiarid soils: combined effects of salinity, sodicity and rate of wetting, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69 (2005), pp. 653–662

Maas, E.V. 1986. Salt tolerance of plants. *aplied agricultural research*, 1: 12-26.

Maas, EV, 1990. Crop salt tolerance. in *agricultural salinity assessment and management* . ASCE, Manuals and Reports on Eingenieering, N° 71. KK. Tanji (Ed.)pp. 262-304. ASCE. NY.

MarshallT, Holmes, J y Rose, C. 1996. *Soil physics*. Third Edition. Cambridge University Press.453 p.

Marschner H. 1985. *Mineral nutrition in higher plants*. Academic Press, London.

Munns R y Termaat A. 1986. Whole plant responses to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 143-160.

Mezuman U y Keren, R. 1981. Boron adsorption by soils using a phenomenological adsorption equation. *Soil.Sci.Soc. Am. J.* 45:722-726

Munns, R. 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together, *New Phytol.* 167: 645-663

Nable R.O., Banuelos G.S, Paull, J.G.2007. Boron toxicity, *Plant Soil* 193: 181-198.

Navarro y Navarro, 2003. Química agrícola. Ed Mundi Prensa, Madrid, 487p.

Osorio, A, Torres, A, De la Riva, F.1987. Tecnificación del regadío en los valles costeros de la provincial de Arica. Instituto de Agronomía. U de Tarapacá.216 p.

Pérez-Alfocea F, Balibrea M, Santa Cruz A, Estañ. M. 1996. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. *Plant Soil.* 180:251-257.

Porta J.,López-Acevedo M, Roquero C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. (2 ed) Mundi Prensa Eds. 849 p.

Rengasamy P. 2002. Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 42:351-361.

Rodríguez, M.1989. Geografía agrícola de Chile. 4ª Ed. Santiago, universitaria. 317 p.

Romero-Aranda, R., Soria T y cuartero, J.2001. Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science*, 160: 265-272.

- Rush J, Dale W; Epstein E. 1981. Comparative studies on the sodium, potassium, and chloride relations of a wild halophytic and a domestic salt-sensitive tomato species. *Plant Physiol.* 68:1308–1313
- Sairam, RK, Srivastava, GC. Agarwal, s. Meena, RC. 2005. differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes. *Biol Plant*, 49: 85-89.
- Serrano R y Gaxiola R. 1994. Microbial models and salt stress tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 13:121-138.
- Shannon M y Grieve C. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Sci. Hortic.* 78: 5-38. South African Water Quality Guidelines, 1996.
- Tarkiewicz S. y Nosalewicz. A. 2005. Effect of organic carbon content on the compactibility and penetration resistance of two soils formed from loess. *International Agrophysics.* 19 (4):345-350.
- Torres, A y Jiménez, M. 1988. "Programa de investigación en parcelas experimentales cuenca río San José". Universidad de Tarapacá. Arica.
- Torres, A y Jiménez, M. 1998."Uso de aguas salinas y servidas para la producción agrícola en los valles de Lluta y Azapa".Universidad de Tarapacá. Arica.
- Yamaguchi T, Blumwald E. 2005. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends Plant Sci* 10: 615-620
- Tsadilas, CD. (1997) "Soil contamination with boron due to irrigation with treated municipal waste water." In: Bell, R W, Rerkasem, B eds. , *Boron in Soil and Plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 265-270

Yokoi, S.; Quintero, F.J.; Cubero, B.; Ruiz, M.A.; Bressan, R.A.; Pardo, J.M. y Hasegawa, P.M. 2002. Differential expression and function of *Arabidopsis thaliana* NHX Na⁺/H⁺ antiporters in the salt stress response. *The Plant Journal* (en prensa)

Wetzel, RG, 1975. *Limnology*.WB. Saunders Company

Wu, M, Back, J. Kubota,C. 2004. Effects of nutrient solution EC, plant microclimate and cultivars on fruit quality and yield of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) *Acta horticulturae* (659):541-547.l

Zahran M. 1997. Ecology of the United Arab Emirates. In: "Reviews in ecology: desert conservation and development". Barakat H, Hegazy A, eds. Metropole, Cairo, Egypt. 297-331.