



Influencia del uso humano y de los fenómenos naturales en la sustentabilidad socio-ambiental del acuífero San José de Azapa, durante los últimos treinta años

Tesis presentada para la obtención del grado académico de Licenciado en Geografía

Autora: Alondra Segura G.

Profesora Guía: Macarena Barahona Jonás

Santiago de Chile, 2018

Tabla de contenidos

Capítulo I. MARCO INTRODUCTORIO	4
1.1. Presentación	4
1.2. Planteamiento del problema	5
1.3. Pregunta de investigación	7
1.4. Objetivo general	7
1.4.1. Objetivo específico	7
1.5. Justificación	7
1.6. Antecedentes	8
Capítulo II. MARCO CONCEPTUAL	12
2.1. Introducción y estructura	12
2.2. Sustentabilidad y condicionantes	14
2.3. Acuífero	16
2.4. Hidrología en clima desértico	22
2.5. Evolución del nivel freático	24
2.6. Conceptualización de los fenómenos naturales	25
2.6.1. Intervención natural	25
2.7. Invierno altiplánico	26
2.8. Sobreexplotación	28
2.8.1. Efectos en el acuífero	29
2.9. Código de aguas	31
2.9.1. Normas para el otorgamiento de agua	32
Capítulo III. MARCO METODOLÓGICO	35
3.1 Metodología aplicada	35
3.2. Ubicación zona de estudio	36
3.3. Diseño metodológico	37
3.4. Objetivo específico 1.....	38

3.5. Objetivo específico 2	38
3.6. Objetivo específico 3	39
3.7. Trabajo en terreno 3	39
Capítulo IV. Resultados	40
4.1. Estructura de los resultados	40
4.2. Caracterización usos humanos y variables físicas naturales	41
4.2.1. Tipo de suelo	42
4.2.2. Lluvias estivales	43
4.3. Condiciones antrópicas	45
4.3.1. Indicadores de desarrollo	45
4.3.2. Sistema de riego	47
4.3.3. Derechos de agua	48
4.3.3.1 Normativa y legislación ambiental	50
4.4. Trabajo de campo: Fichas de observación y recolección	55
4.5. Imágenes satelitales	56
4.6. Fotografías y trabajo de campo	57
Capítulo V. Análisis de resultados	60
5.1. Escenario de análisis	60
5.1.2. Caracterización de la zona de estudio	60
5.2. Caracterización de la dimensión física-natural	61
5.2.1. Condiciones hidrológicas	61
Capítulo VI. Conclusiones	68
6. Bibliografía	70
7. Anexos	74
7.1. Entrevistas	74

CAPÍTULO I. MARCO INTRODUCTORIO

1. PRESENTACIÓN

La naturaleza de esta investigación se desarrolla en la Región de Arica y Parinacota en dinámicas que tratan sobre un acuífero llamado San José de Azapa, el cual está siendo intervenido por factores tanto antrópicos, físicos y naturales, los cuales lo limitan a seguir su funcionamiento habitual, afectando el nivel freático del acuífero. Esto se debe a que se estaría dando una reducción de su recurso hídrico de manera considerable, en el cual cada año la recarga que recibe no supera la descarga que se le otorga, por lo que, se está limitando su producción, dejando de aportar en cantidades elevadas el recurso hídrico que utiliza la población de la región de Arica y Parinacota.

Existiría una suerte de sobreexplotación porque sus aguas están siendo usadas para las plantaciones agrícolas, por lo tanto, el acuífero San José de Azapa, al estar ubicado en el Valle de Azapa, donde principalmente su agua es utilizada por los habitantes del Valle en el riego de sus plantaciones agrícolas y por medio de derechos de aguas se abastecen de él, además sus aguas se utilizan para abastecer a la población de la región, debido a que esta es una de las pocas fuentes de recurso hídrico que cuenta con las características para abastecer una región.

Además, para que el acuífero pueda funcionar de manera habitual debe cumplir con una serie de factores, ya que al encontrarse en la zona norte de Chile donde el clima se rige por altas temperaturas y pocas precipitaciones es que existe un proceso mal llamado “invierno boliviano” el cual se impone con precipitaciones orográficas, esto quiere decir que se basa en meses específicos del año, como son de Diciembre a Marzo, por ende, el acuífero logra recargarse y funcionar de manera óptima esos meses pero el resto del año solo se utiliza para extraer el recurso de él.

Si bien el fenómeno bien llamado “invierno altiplánico” es uno de los fenómenos naturales que más contaminación arroja en las regiones hacia el norte de Chile, también es una fuente de recurso hídrico que ayuda a sustentar gran parte de la población. Debido a que si no existiera, a los habitantes de la región les costaría mucho más poder abastecerse del recurso hídrico y muchos se verían directamente afectados con sus plantaciones en el valle de Azapa.

Así mismo, es que a la sustentabilidad que puede tener el acuífero San José de Azapa, se le agrega otro factor determinante en su proceso de vida, ya que, el ser humano al tener la necesidad de abastecerse de recurso hídrico es que crea formas para obtenerlos, no sabiendo el daño ecosistémico que causa. Por lo tanto, extraen tanto recurso hídrico que el proceso normal del acuífero no se completa y antes de que se haya recargado, ya está siendo explotado nuevamente.

Por lo tanto, con esta investigación se busca generar un documento que entregue las herramientas a la región para mitigar los efectos que suceden sobre el acuífero y a la vez fomentar tanto el estudio como la regularización que deben tener las autoridades en lugares claves, los cuales otorgan un sustento a la región, tanto económica, social y ambientalmente. Es por esto, que se estudiarán variables humanas como también físicas-naturales las cuales aportarán con respuestas e información que genera más conocimiento sobre el tema.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático está afectando de manera directa al planeta, si bien esto viene sucediendo hace ya un tiempo, los últimos años se ha intensificado de manera considerable. Gran parte de este aumento se debe a la acción del ser humano mediante la realización de actividades que generan un impacto en el medio ambiente e influyen directamente en el ecosistema causando alteraciones provocadas por el cambio climático y dentro del mismo contexto, los fenómenos naturales al estar involucrados dentro del cambio climático, se manifiestan variando su intensidad y habitualidad con que ocurrían, en la historia han tenido una temporalidad, un desarrollo y una constancia, en cambio hoy marcan un antes y después al momento de caracterizarse, generando un caos en la población dentro de la cual habitualmente ocurren. Uno de los grandes problemas que está enfrentando hoy en día la población, es el tema de la sequía, ya que, si bien en algunas zonas del mundo precipita mucho y se logra abastecer a toda la población, existen otros lugares, los cuales están localizados más hacia el sur de Chile los que sufren claramente año tras años el mismo problema de sequía.

Chile es un país que a lo largo de su franja contiene una variación de climas y de geomorfología distinta, es por este motivo que lo hace tan distinto dentro de otros países de Latinoamérica, pero en si esto trae algunas complicaciones, como lo es tener extremo desierto en la zona norte y tener abundantes precipitaciones en la zona sur, en conjunto con su vegetación y glaciares sobresalientes dentro del país ubicados en el extremo sur. Dentro del contexto de cambio climático, escasas y una variedad de problemas que ocurren a diario en el mundo con respecto a cómo el hombre está interfiriendo el ecosistema, es que se ha decidido hablar de una investigación basada en el norte de Chile, específicamente en la región de Arica y Parinacota, puesto que se está viendo afectada de manera específica cada año y es necesario aportar tanto en conocimiento como en prácticas para que no siga deteriorándose más el planeta.

Este es un suceso que se viene repitiendo año tras año, en donde se ven afectados varios factores, entre ellos es el turismo de la zona, debido a que en los meses de verano toda la zona se prepara para recibir a un gran número de turistas porque es la época más fuerte y por ende se pierde clientela cada año y el último tiempo aún más. Debido a que las aguas se contaminan de tal manera que las personas no se pueden bañar en el mar, los caminos se cortan y el agua es intomable, y por estas razones se incrementa el malestar tanto de la población que radica todo el año en Arica y Parinacota como la que va esporádicamente solo en una época determinada. En relación con esto la región pierde ingresos con los cuales se consto y/u espero durante todo un año, ya que la zona se prepara para esta época, generando carnavales muy característicos dentro de Chile, corridas, festivales de diversa índole en varias partes de Arica y con los ingresos que esto genera se utilizan para reconstruir y a la vez invertir cada vez más la región, con el objetivo de que se genere un flujo importante de personas.

Otro factor a considerar que se ve afectado y el más importante visto desde el bienestar de la población, es la salud, ya que el invierno altiplánico trae consigo una serie de alteraciones y contaminaciones, por lo que las playas de la región están intervenidas con restos de basura, llegan animales como las medusas, delfines, tortugas y el agua se transforma en un color café, debido a todo lo que atrajo el cauce en su paso y venia contaminado con residuos, al momento de llegar a la

costa los que directamente se ven perjudicados son los turistas y pobladores en donde han ocurrido casos que tienen enfermedades físicas graves producto de que las aguas están contaminadas.

Además, dentro del acuífero sucede un tema importante que lo está interviniendo de manera directa a lo largo del año. Si bien el acuífero San José de Azapa es una de las fuentes principales de recurso hídrico, este está siendo sobreexplotado por extracciones ilegales, los cuales se aprovechan de que no exista una regulación profunda de parte del estado, donde esta presenta la inexistencia de modelos hidrogeológicos que ayudan a racionalizar la gestión de las aguas subterráneas pero las personas no comprenden que ya no existe manera de seguir extrayendo agua de él.

Este acuífero tiene una importancia tanto económica porque genera un ingreso a la localidad de Azapa producto de que vende las aguas para sustentar a la población de la región, también social, debido a que abastece a un gran número de personas, otorgándole un beneficio y en conjunto con esto les aporta el agua necesaria para vivir, donde el bienestar humano depende del buen funcionamiento de los ecosistemas y por último una importancia ambiental, ya que si se extrae mucho más de lo que se recarga, el acuífero durante el año se está afectando medioambientalmente y se tiene una presión importante en los recursos hídricos, superando en extracción al caudal disponible con el que se está abasteciendo, en conjunto con esto el agua sustenta varios ecosistemas por lo que si no se detiene la extracción ilegal, existe una alta probabilidad que muchos factores que se ven beneficiados de ella caigan en una devastación.

Es por esto que el problema central que se identifica en este territorio y uno de los más importante para el medio ambiente, es que la oferta de agua en el acuífero, en términos de cantidad y calidad es insuficiente para el nivel de extracción demandado actualmente, está provocando una disminución de la disponibilidad de agua para todos los usuarios, entonces la tasa de extracción supera la capacidad de recarga, producto de una gestión inadecuada del acuífero, en donde se establece una clara demanda por parte antrópica para sustentar sus propios intereses y no pensando en el perjuicio que se le hace al medio ambiente al dejar un acuífero tan importante sin su recarga. En conjunto con esto los derechos de otorgamiento de agua que se dan para que sea ocupado el acuífero son excesivos, en relación a lo que este puede generar, por ende, la información clave por parte de las autoridades es precaria.

La importancia de este acuífero en conjunto con la relación que tiene tanto la población y el invierno altiplánico se debe a que es un medio para proporcionar recurso hídrico a la región, por lo tanto es importante entender cuáles son las formas en las que se ve afectando desde una perspectiva antropológica como también desde los mismos fenómenos naturales que determinan las condiciones en las cuales se está llevando a cabo su funcionamiento, ya que los niveles freáticos están disminuyendo progresivamente y solo en años de precipitación de una forma abundante se podría volver a recuperar los niveles de agua necesarios para su perfecto funcionamiento y también de manera que no se dañe el ecosistema. Si bien no se logra comprender por parte de la población que esto es un tema grave, cada vez ira disminuyendo el agua almacenada hasta quedar en la escasez total, donde ya no se podrá utilizar este recurso hídrico porque no existirá.

1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo determinan e influyen en el estado de sustentabilidad socio-ambiental del acuífero San José de Azapa la relación existente entre el uso humano y los fenómenos naturales que lo afectan generando las condiciones de vulnerabilidad que ha presentado durante los últimos 30 años?

1.4. OBJETIVO GENERAL

- Analizar la forma en que se determinan y relacionan el uso humano y los fenómenos naturales con el estado de sustentabilidad socio ambiental del acuífero San José de Azapa durante los últimos 30 años

1.4.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Identificar y caracterizar los usos humanos y fenómenos naturales que determinan la sustentabilidad socio-ambiental del acuífero San José de Azapa.
- Analizar las transformaciones que han efectuado el uso humano y los fenómenos naturales sobre el acuífero San José de Azapa.
- Relacionar las transformaciones del acuífero San José de Azapa con las actuales condiciones de sustentabilidad socio-ambiental.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación fue pensada para que genere un aporte a la región de Arica y Parinacota, ya que existen muchos problemas en la zona norte de Chile producto de los tres factores importantes tratados en esta investigación, en el caso de la escasez hídrica es necesario abordarla y tomarle el peso a lo que está sucediendo a nivel planeta, ya que en todos lados del mundo el medio ambiente está siendo atacado y es necesario generar consciencia sobre esto, para que así se pueda mejorar porque si se sigue con la misma postura, se terminara muriendo el lugar de residencia de toda la población, quizás este hecho comienza desde algo más micro hasta llegar a algo más macro, como lo es el caso de la escasez hídrica.

Este suceso comienza siendo algo principalmente local, ya que el acuífero de una región está siendo exigido antes de ser recargado y no se está abasteciendo como tiene que hacerlo o como solía ocurrir hace tiempo atrás, esto se debe netamente a que se está intensificando en cada una de las zonas sus factores, y como en el caso del norte de Chile se caracteriza por ser muy desértica, cada día se está incrementando este término, habiendo menos precipitaciones al año, generando un aumento significativo en lo que respecta a la escasez hídrica.

El caso del invierno altiplánico es necesario que se dé a conocer no tan solo a la población que radica todo el año en la región, ni en sus alrededores porque ellos si bien deben saber de qué se trata y como poder manejarlo, sino más bien tanto a los turistas que habitan la zona de vez en cuando, son más esporádicos, por lo que es necesario informar a estos lo que sucede en tales meses y como se puede enfrentar, sin la necesidad de que se tengan que ir de la región por este suceso, pero más importante aún es necesario que se tome consciencia de lo que es un invierno altiplánico, como funciona, cuánto dura y cuando bueno o malo es para la población, a través de esto se busca generar

una forma de información, en donde no solo esta investigación quede en manos de municipalidades o sectores privados, los cuales esta relacionados con el tema y lo ven gran parte del tiempo. Esto es más bien desarrollado para que se pueda seguir investigando y sacando conclusiones, como además recibir ayuda de parte de los pobladores como también de las municipalidades, para que este tema afecte de manera menos directa a los residentes de Arica y Parinacota, ya que a ellos les sirve que esto se solucione para así no perder clientela en esos meses de verano.

Como última parte de la investigación es necesario que salga a la luz y que se muestre en si tanto a municipios, pobladores como al estado que los acuíferos están siendo sobreexplotados, que esto genera un daño al ecosistema y también un daño al ser humano que hace uso de este todo el año. Es claro que en el norte de Chile se trabaja mayoritariamente con mineras, las cuales contaminan gran parte de los lugares cercanos a acuíferos, por ende, en conjunto con toda la información que se pretende entregar en esta investigación, es necesario que la población este alerta y en parte se puedan interiorizar para así defender lo que ellos consideran que esta mal y visto desde el medio ambiente le esta haciendo cada día mal.

Es importante para así generar un enriquecimiento del tema abordado, mayor información a las personas que les interesa el tema pero no saben dónde buscar información o qué es lo que está pasando, y además de todos los puntos es necesario hacer partícipe a la población de esto que está sucediendo, de ver sus puntos de vista y así sacar una conclusión más global de lo que ellos opinan de lo que está pasando en ese sector.

En varios documentos se explica que el estado no está al tanto activamente sobre lo que sucede con estos acuíferos que están más alejados del centro, es por esto que también se busca generar un llamado a que exista más personal las cuales trabajen en esto, para así poder controlar de manera activa lo que sucede y le otorguen una solución, en la cual la comunidad pueda participar y también integrar los puntos de vista que tenga cada uno.

1.6. ANTECEDENTES

Esta investigación se basa en la región de Arica y Parinacota la cual se caracteriza por ser una zona más bien fronteriza y turística, estas dos son sus cualidades debido a que es la región que limita con la frontera de Perú por ende le da un mayor enriquecimiento y también un flujo intenso entre un país y el otro, otorgando beneficios que no tienen otras regiones como lo es variedad de pobladores peruanos y bolivianos que les es más conveniente vivir en Arica, desarrollar su vida en este país y así implementar una vivienda en Chile. Si bien esta región consta de gran remuneración en los meses de mayor flujo, como lo son desde Diciembre a Marzo, ya que se basa en una región que consta de un atractivo turístico que está buscando ser habitada, demandando en su mayoría alojamiento, comida y lugares de los que se pueda enriquecer tanto de manera visual como de su historia, y una vez logrado esto, utilizarla como medio para así después tener la posibilidad de cruzar a los países más cercanos como Perú y Bolivia.

Se caracteriza por ser una zona desértica, ya que la región está ubicada en el extremo norte de Chile, por lo que es principalmente un clima seco, sin mayores precipitaciones al año, ni existencia de cambios ambientales radicales, por lo tanto, en el momento que ocurren fenómenos que crean una

intervención en los factores característicos del clima de la región, generan un quiebre en su funcionamiento habitual, otorgando un cambio en la estructura de la región en general producto de que el suceso que ocurre deja a gran parte de la población desconectada dentro de sus mismas localidades, como lo es el caso del “invierno altiplánico” en el cual ocurren hechos que tienen directa relación con la población y el relieve de la zona.

El área de estudio es desde una manera más general a una particular, ya que el problema aquí abordado afecta a toda la población de la región producto del invierno altiplánico, es en un solo lugar en específico en donde ocurren los hechos y este es en el acuífero San José de Azapa, el cual está ubicado en la cuenca del río San José que radica en la comuna de Arica, donde las principales fuentes de agua de la cuenca son ríos aledaños como el Laco, Seco y Tignamar.

El Valle de Azapa se encuentra en la parte baja de la cuenca entre los sectores de Saucache y Pampa Grande. Históricamente ha presentado buenas condiciones de calidad y cantidad de agua, razón por la cual ha sido intensamente explotado, sin embargo, su disponibilidad se ha visto afectada en los últimos años debido a la intensa explotación. Su principal fuente de recarga proviene de la infiltración de las precipitaciones y la escorrentía superficial generada por ésta, luego se encuentra la filtración en sistemas de regadío, pérdidas en el sistema de distribución de agua potable y el flujo subterráneo proveniente de la parte alta de la cuenca. Las salidas del sistema acuífero consisten en el afloramiento de vertientes, bombeo, afloramiento en el río y flujo subterráneo que pasa hacia el norte en la ciudad de Arica.

En la cuenca existe un acuífero, el que corresponde a un sector hidrogeológico de aprovechamiento común, por ende, está habilitado para el sustento de la población, las empresas que están encargadas de la distribución del agua potable para la población urbana son aguas del altiplano y se dedican a abastecer a aproximadamente 200.000 habitantes.

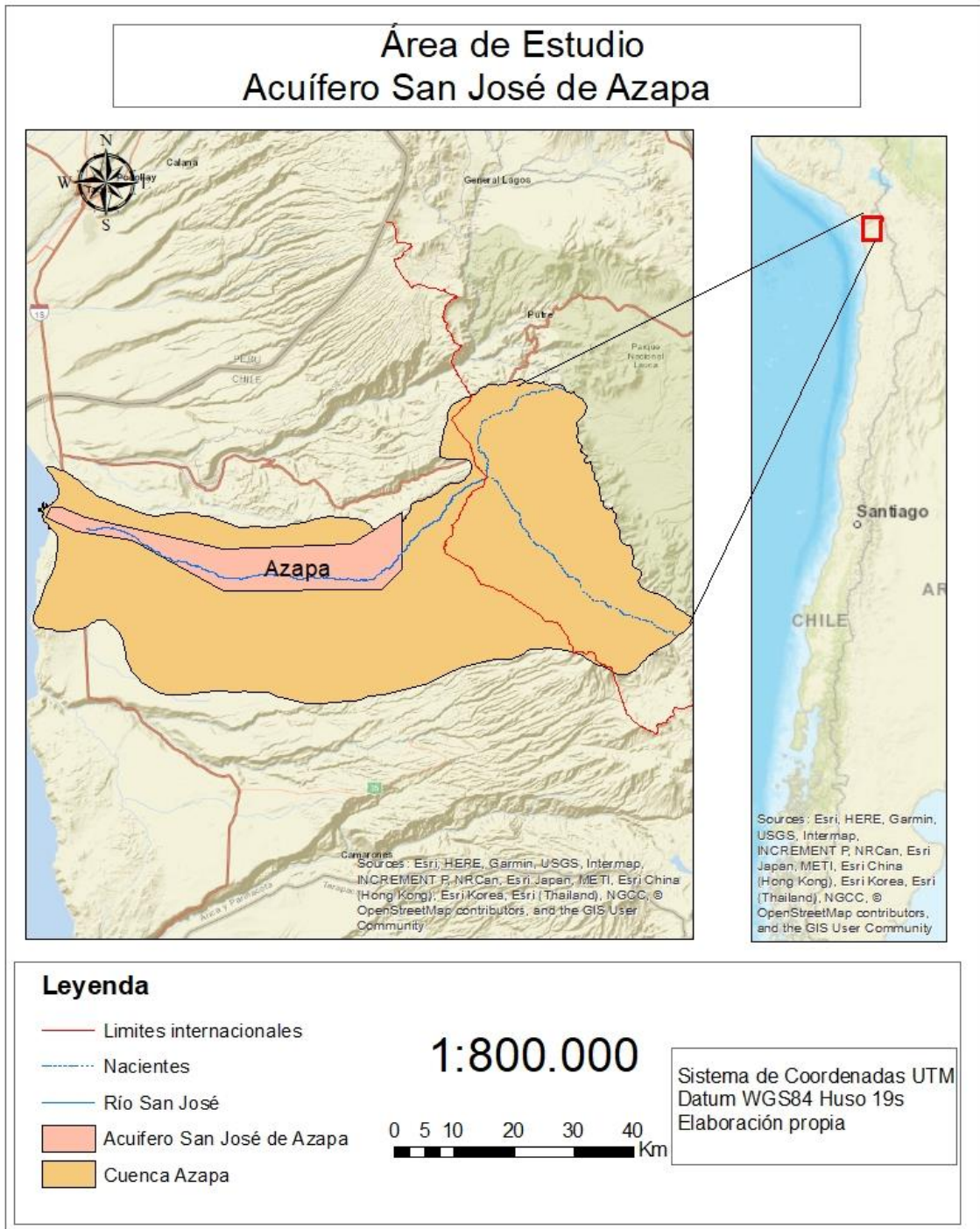
El clima de la cuenca es del tipo árido subtropical, en el cual se aprecian camanchacas que son originadas desde el borde costero del norte de Chile y consta con alta humedad. En la parte media del valle bajan las temperaturas y tienen mayor oscilación producto de la altura y además la lejanía que tiene con el mar marca esta diferencia. La parte más alta de la cuenca se caracteriza por concentrar la mayor parte de las precipitaciones las cuales son de origen convectivo. (JICA, 1995)

La función del Valle y a lo que se dedican la mayor parte de los habitantes es al rubro agropecuario, ya que más del 50% de las aguas se destina a eso, la cultura del valle antes era distinta y fue evoluciono de la que tenían antes que era de cazadores recolectores a la agroalfarera. En Azapa se encuentran vestigios de todas las etapas del desarrollo agrícola. Aquí se cultivaba el algodón, quínoa, maíz, amaranto y otras plantas nutritivas. También, desde muy temprano, se inició la crianza de la llama y la alpaca. La zona en torno a Arica la podemos dividir en unos cuatro pisos ecológicos diferentes. El primero, al lado del mar, se caracteriza por la pesca y recolección de recursos marinos. El segundo, típico de los valles como Azapa, se caracteriza por los cultivos y el cuidadoso manejo del agua. El tercero, más en altura, en lugares como Putre y Socoroma, combina el cultivo de especies resistentes al frío con la crianza de llamas y alpacas.

Los primeros habitantes llegaron a estos lugares hace más de 10.000 años. Al inicio su cultura se asentó sobre todo en la costa, aprovechando los abundantes recursos que ofrecía el mar: peces, moluscos y crustáceos. De allí surgió la cultura “Chinchorro”. Esta se llama de esa forma pues es en la playa del Chinchorro donde se han encontrado la mayor cantidad de vestigios. Pero también habitaban en las desembocaduras de las quebradas de Chaca, Camarones y otras más al sur.

El sistema complejo que se llevaba, los dejó en la obligación de establecer rutas de comercio entre estas diferentes localidades. Los nuevos caminos siguen aproximadamente el trazado de las rutas más antiguas. Los pueblos antiguos que aquí habitaban, tuvieron comercio con el lejano Tiahuanaco y el Cusco. Caravanas de llamas acarrearán el producto de una zona a otra en un incesante ajetreo de intercambio comercial y cultural. En todas estas partes existen grandes jeroglíficos, que son diseños en las laderas de los cerros que representan los más variados objetos. Desde llamas a guanacos, pasando por grandes lagartos y también diseños abstractos.

Mapa 1. Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II. MARCO CONCEPTUAL

2.1. INTRODUCCIÓN Y ESTRUCTURA

El marco de acción conceptual está fundamentado bajo la perspectiva de como los apartados del uso humano y los fenómenos naturales determinan la sustentabilidad socio-ambiental del acuífero San José de Azapa, ya que estos se relacionan basándose en una yuxtaposición espacial de sus partes. Para que esto sea esclarecido es de suma importancia que existan cuatro etapas de conceptualización. En primera instancia, se analiza el escenario basal destacando la sustentabilidad socio-ambiental propia del área de estudio y cómo esta se define mediante conceptos que arrojan características que destacan en la investigación.

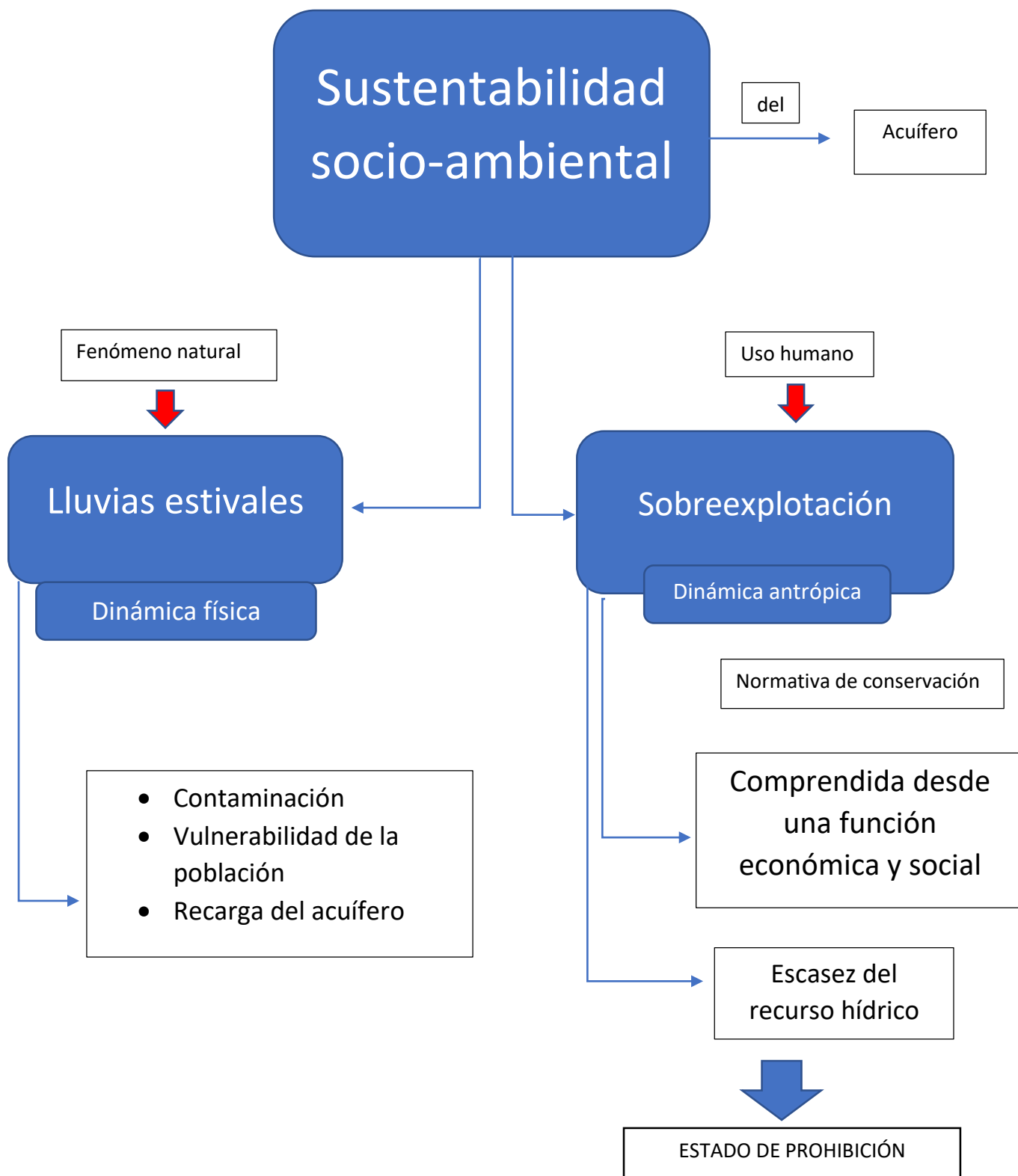
En segunda instancia, se contextualiza uno de los primeros apartados relevante a definir, destacando las características propias del área de estudio, en este caso el *Acuífero* conceptualizando y teologizándolo, para con ello, analizar su función ecosistémica dentro de San José de Azapa.

En una tercera instancia, se advierte la importancia de la dimensión natural comprendida desde la instancia situacional y temporal, ya que el escenario del “acuífero” se ve afectado por el denominado “invierno altiplánico” el que es abordado como un fenómeno natural, cuyo periodo de estudio se basa en la recomposición del escenario comprendido entre los meses de diciembre a marzo en el norte de Chile. Su estudio se argumenta en relación a la revisión de la tipología y origen desde diferentes perspectivas y concepciones geográficas y ecológicas.

Por último, la cuarta instancia de análisis conceptual se basa en la *Sobreexplotación*, este concepto tendrá varios apartados, ya que la sobreexplotación está arraigada en la variable de uso humano, siendo una dinámicas tanto económica, social y cultural. Es esencial para los actores principales (estado y sociedad) que la base normativa este esclarecida así se realizan exploración y explotación de las aguas bajo un reglamento, existiendo con esta finalidad la identidad estatal DGA (Dirección General de Aguas) encargada de instaurar las normas y la supervisión de las aguas del territorio nacional.

Los cuatro apartados mencionados constituyen la totalidad de la investigación, estos generan una yuxtaposición la cual se trabaja en conjunto desarrollando un producto específico a través de las variables que cada uno contribuye. El siguiente esquema expresa lo descrito con anterioridad:

Esquema N°1. Marco de acción teórica



Fuente: elaboración propia.

2.2. SUSTENTABILIDAD Y CONDICIONANTES

“El concepto de sustentabilidad se funda en el reconocimiento de los límites y potenciales de la naturaleza, así como la complejidad ambiental, inspirando una nueva comprensión del mundo para enfrentar los desafíos de la humanidad en el tercer milenio. El concepto de sustentabilidad promueve una nueva alianza naturaleza-cultura fundando una nueva economía, reorientando los potenciales de la ciencia y la tecnología, y construyendo una nueva cultura política fundada en una ética de la sustentabilidad –en valores, creencias, sentimientos y saberes– que renuevan los sentidos existenciales, los mundos de vida y las formas de habitar el planeta Tierra” (Manifiesto por la vida, 2002)

De esta manera García (2000) complementa la cita vislumbrando la corriente geográfica que a su vez ha tenido una larga participación en el cuidado de la interacción ser humano/medio desarrollando una preocupación por los problemas derivados de la interacción, de las relaciones, entre naturaleza y sociedad, y en general por las cuestiones ambientales, como disciplina que ha tenido tradicionalmente como objeto de estudio dichas relaciones y sus consecuencias en la superficie terrestre.

A raíz de esto y de que las diversas ciencias sociales están preocupadas por el planeta se elabora el concepto de sustentabilidad, intentando generar una relación factible en la cual se integren varias variables y puedan congeniar logrando un resultado prospero, es necesaria la toma de conciencia y además es esencial desde la mirada de Bifani (1997) entrelazar la relación sociedad-naturaleza, ya que esta constituye un proceso esencialmente recíproco y cambiante, producto de que la intervención del hombre sobre el medio ambiente y las consecuencias que de ello se derivan no son hechos o fenómenos aislados, sino que transcurren dentro de una temporalidad que estampara sus acciones en el tiempo.

Así mismo como desarrolla la cita anterior extraída del manifiesto por la vida (2002) se promueve mediante la sustentabilidad generar una conexión entre naturaleza y cultura desde la que se forme una nueva economía apoyada con una ética tanto de valores, creencias y apego al hábitat natural, ya que esto es la base para el progreso como humanidad, debido a que los recursos naturales se agotan, son contaminados y tienen un tiempo límite si se abusa de su beneficio.

Del mismo modo Dietrich (2009) plantea lo que sucede en el presente, ya que a medida que se logra una interacción naturaleza-sociedad, avanzan los deterioros de las relaciones del ser humano con la naturaleza, relacionando que cuando se descubren más ofertas de la naturaleza, se dicotomizaban las demandas y como resultado se sobreexplotan los recursos, por ende Gómez-Lobos (s/f) explica que mediante la sustentabilidad se generan límites al crecimiento productivo, al consumo de recursos y a los impactos medio ambientales, contribuyendo a la capacidad de soporte de los ecosistemas, planteando los límites como un llamado a no “descapitalizarnos”, al comprender que existen distintas formas de capitales complementarios e interdependientes y no sustitutivos entre sí.

En la misma línea se desarrolla la idea de que la sustentabilidad es un proceso de desenvolvimiento social basado en la interacción constructiva y sinérgica de las dimensiones ambientales, económicas, productivas, socio-culturales en la que estas variables adjuntas forman un todo guiando la comprensión para la sustentabilidad. Estas buscan una modificación estructural en la forma de pensar el desarrollo, desarrollo que delimita Bifani(1997) no puede ser pensando solo desde una dimensión espacial, sino abordar la función de los periodos históricos por lo que atraviesa y por las formas de organización social que se adoptan en cada uno de ellos. Esto deja esclarecido que el espacio y el tiempo son, las dimensiones en que coexisten el sistema social y el sistema natural.

Posicionándose en la relación ser humano y medio ambiente natural Bifani (1997) especifica que la conexión entre ambos es, antes que nada, una relación unitaria en la cual es necesario generar una interacción recíproca, ya que si son separadas de su dialéctica carecerían de sentido. Desarrolla la idea de que no existe un medio ambiente natural independiente del hombre porque la naturaleza siempre estará presente, activando su acción transformadora, afectando y determinando los procesos dialecticos de acciones e interacciones.

Otros autores (tesis sustentabilidad) establecen la preocupación de la sustentabilidad en la esfera ecológica, entendida como la parte “verde” del planteamiento, dejando de lado las otras dimensiones ya nombradas, centrando su punto de vista en el caso de Foladori (2007) en que para cada avance adquirido en la sustentabilidad ecológica, hay un retroceso en la sustentabilidad social, y no por causa de la aplicación de técnicas limpias, sino independientemente de ellas y por efectos de la propia acumulación de capital.

Por lo tanto, se sostiene que el crecimiento económico, como el deterioro ecológico y la inequidad social, constituyen una única dinámica sistémica, lo que conlleva tal como dice Quiroga (2001) a la existencia de los problemas ambientales debido a la presión excesiva sobre los recursos naturales, esto se enmarca en resultados relacionados con la sobreexplotación, agotamiento y pérdida de patrimonio natural. A esto se le suma el uso excesivo del medio ambiente como un receptáculo de emisiones y contaminación. Es característico encontrar casos geográficamente específicos de contaminación y sobreexplotación de aguas. (Quiroga, 2001).

El hombre se encuentra estructurado por los fenómenos físicos, biológicos, químicos, entre muchos más, estos plasman una realidad ambiental y la dinámica generada en conjunto es la de los fenómenos naturales pero lo que no puede quedar apartado es la presencia humana ya que tal como lo plantea Bifani (1997) esta define la realidad social, cuya realidad que, al momento de transcurrir de una dimensión histórica, trasciende el medio natural. Por lo tanto, cuando se acepta la interdependencia hombre-sociedad-medio ambiente, surge la necesidad de enfrentar la problemática ambiental dentro de sistemas analíticos comprensivos los que simbolizan la realidad histórica que se ha integrado hasta alcanzar una dimensión planetaria.

Por un lado, está la creciente conciencia ambiental que se impone poco a poco mediante políticas específicamente ambientales. Esta dinámica obedece a diversos factores: la preocupación por el posible agotamiento de los recursos naturales; por los efectos de la contaminación sobre la salud

humana y de otros seres vivos; por la degradación de los ecosistemas que impide la continuidad de los procesos productivos, como en caso del suelo, etc. (Foladori, 2007)

Dentro de las dinámicas a trabajar están la sustentabilidad social y la sustentabilidad ambiental para así conformar la base de la investigación "*sustentabilidad socio-ambiental*" en relación a esta Guimarães (2002) aborda la sustentabilidad ambiental como un mantenimiento de la capacidad de sustento de los ecosistemas, lo relaciona con la capacidad de la naturaleza para absorber y recomponerse de las agresiones antrópicas. Elabora un ejemplo en base a la actividad económica, ya que las tasas de emisión de desechos deben equivaler a las tasas de regeneración, así estas estarían determinadas por la capacidad de recuperación del ecosistema.

En cambio, el mismo autor elabora una definición de sustentabilidad social del desarrollo, teniendo por objetivo el mejoramiento de la calidad de vida de la población. Con algunos criterios como la justicia distributiva, para un caso específico como es el de la distribución de bienes y de servicios, también la universalización de la cobertura, para las políticas globales de educación, salud, vivienda y seguridad social.

En torno a la anterior el desarrollo territorial y desarrollo sustentable constituyen pues dos caras de una misma medalla. En ese sentido, uno de los principales desafíos del fomento productivo local se refiere precisamente a la necesidad de territorializar la sustentabilidad ambiental y social del desarrollo – el pensar globalmente pero actuar localmente- y a la vez, la sustentabilidad del desarrollo de los territorios y regiones, es decir garantizar que las actividades productivas contribuyan de hecho para la mejoría de las condiciones de vida de la población y protejan el patrimonio. (Guimarães, 2002)

En relación a lo mencionado en los párrafos anteriores el propósito del trabajo es explorar el efecto que causa los fenómenos naturales y el ser humano en el área estudiada, generando la influencia socio-ambiental del acuífero San José de Azapa, pensando en una modificación desde lo local que propicie el desarrollo sustentable, por medio del privilegio de articulación de lo social en conjunto con el medio ambiente (capacidad de renovación).

Según Gallopin (2003) al realizar un abordaje conceptual desde el enfoque sistémico y desde allí evaluar las diferencias que están establecidas desde distintas posturas frente a la sustentabilidad (sostenibilidad), llega al consenso que hay ciertas entidades o autores que prestan atención al sistema social o socioeconómico y los que privilegian únicamente la sustentabilidad de la naturaleza y los relaciona con la sustentabilidad muy débil y muy fuerte respectivamente.

Manteniendo la misma línea, el desarrollo sustentable incorpora a la conservación de la naturaleza externa, la sustentabilidad social y también una sustentabilidad económica pero dicho lo anteriormente no es un pensamiento de todos los especialistas, ya que algunas instituciones, autores y prácticas de políticas ambiental continúan privilegiando o considerando exclusivamente a la sustentabilidad ambiental. Se deja en claro que los aspectos sociales y económicos de la sustentabilidad siempre complementan los de la sustentabilidad ecológica.

Al contrario, Gudinas (2004) establece la perspectiva del desarrollo sustentable siendo esta la base del respeto por el patrimonio natural, relacionando los procesos productivos que este requiere marcando sus límites y demandas ambientales. Los cambios de orientación hacia la sustentabilidad no tienen como principio mantener, o acentuar la desigualdad o la pobreza, ya que esa no es la finalidad que se busca, sino la de mejorar las condiciones de calidad de vida. Por lo tanto, es indispensable que cada una de las variables que están interviniendo e intervenidas, logren congeniar, interrelacionándose de una forma adecuada, en la cual la sustentabilidad socio-ambiental se conciba.

El desarrollo sostenible debe orientarse no solo a preservar y mantener la base ecológica del desarrollo y la habitabilidad, sino también a aumentar la capacidad social y ecológica de hacer frente al cambio, y la capacidad de conservar y ampliar las opciones disponibles para confrontar un mundo natural y social en permanente transformación. (Gallopín, 2003)

Para finalizar desde la posición crítica, se establece que el paradigma del desarrollo sustentable es una construcción ideológica promotora y justificadora de la globalización capitalista que considera de manera simplista al crecimiento como un remedio imprescindible para asegurar la conservación del medio ambiente y resolver los problemas sociales. En conjunto las obras de Reclus o de Kropotkin, relacionados con el evolucionismo darwinista, que intentan conseguir una comprensión integradora de los hechos naturales y humanos, creando una relación armónica entre la naturaleza y las sociedades humanas como medio para que el hombre encuentre la razón misma de su libertad (García, 2000)

2.3. ACUÍFERO

El ecosistema natural subterráneo clasificado bajo la premisa de la conceptualización de *acuífero* es comprendido desde variadas disciplinas, siendo necesario construir una tipología sobre el sentido del acuífero como un escenario esencialmente natural que se constituye sobre la base ecosistémica que da su funcionalidad.

De este modo, desde una mirada geológica Meinzer (1925) plantea que es una *“formación geológica, grupo de formaciones o parte de una formación que contiene material saturado y suficientemente permeable para proveer de cantidades significativas de agua a pozos y manantiales”*. (Meinzer, 1925)

En la misma línea Price (2003) plantea que un acuífero debe analizarse desde una mirada geomorfológica comprendiendo que este está constituido por *“Las capas de roca –o de materiales no consolidado- lo suficientemente porosas para almacenar agua, y con la permeabilidad necesaria para permitir que el agua fluya a través de ellas en cantidades económicas y de calidad deseable, se define como acuífero”* (Price, 2003).

En este mismo sentido, se advierte que la definición es más generalizada, en donde varios autores concuerdan con lo mismo y se utiliza como parte de la hidrología de manera habitual, este término tiene una variabilidad de definiciones inmensas pero la mayoría concuerdan en lo mismo. Centrado netamente desde el ámbito geográfico y geomorfológico, llegamos a la conclusión que el acuífero

es una *“capa o masa rocosa de elevada porosidad y permeabilidad, que transmite y recoge fácilmente el agua del suelo”* (Strahler, Strahler, 1996).

Esto determina lo que se está indagando cuando se centra la investigación en el Valle de Azapa, ya que se traspasa y recoge tal como dice Strahler y Strahler (1996) desde el acuífero como recurso hídrico y genera un aporte a la población, la cual le da distintos enfoques de uso.

Al mismo tiempo, Penk y Knight (2008) aportan información sobre el agua alojada en los acuíferos, la cual constituye más del 97% del agua dulce líquida del planeta. Estos sistemas en el último tiempo, se han visto como verdaderos ecosistemas subterráneos (Blarasin et al., 1999; Hancock et al., 2005).

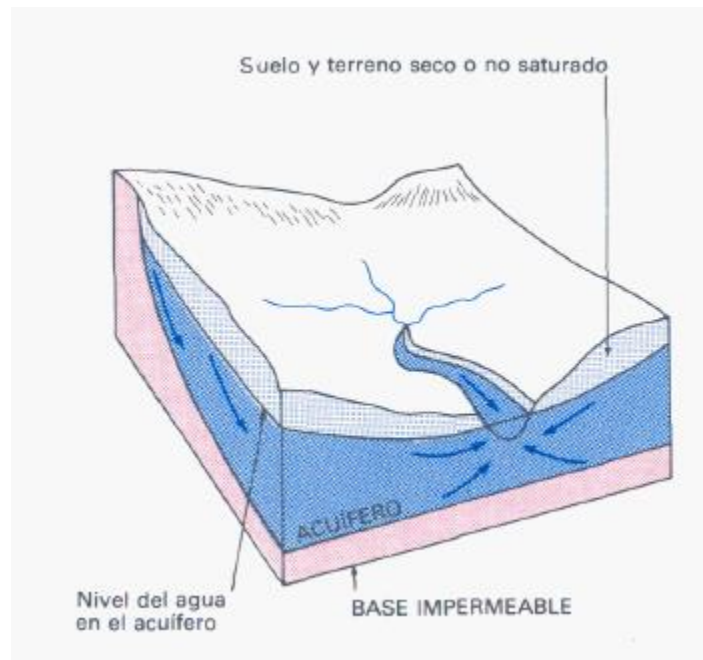
Dentro del acuífero se pueden reconocer tres componentes estructurales: 1) una matriz con varios tipos de poros en función del sedimento o tipo de roca (poroso, cárstico, fracturado); 2) agua subterránea; estas dos representan el hábitat que utiliza el componente vivo del sistema (Danielopol et al., 2008), y 3) organismos vivos. Los acuíferos han demostrado mediante estudios que son ricos en diversidad y no solo “desiertos” biológicos, estos contienen la mayoría de los principales grupos taxonómicos encontrados en las aguas superficiales y albergan un impresionante número de animales filogenéticamente aislados (Galassi, 2001).

En las aguas subterráneas las comunidades que habitan ahí están compuestas principalmente por crustáceos (Humphreys, 2006), además de tardígrados, oligoquetos, nematodos y ácaros (Thulin & Hahn, 2008). Las comunidades tienen clasificaciones, las cuales determinan que existen especies con diferentes estados de adaptación a los ambientes subterráneos (Gibert & Deharveng, 2002). Como se habla de un ambiente subterráneo existe una ausencia de luz completa, esto conlleva a implicancias reveladoras, tanto ecológicas como biológicas en el ecosistema (Fenwick et al., 2004).

La distribución de la fauna del agua subterránea es muy irregular y dinámica a través del espacio y el tiempo, se encuentra vinculada a las características hidrológicas, fisicoquímicas y estructurales de los acuíferos en los cuales habitan (Danielopol, 2000). Debido a esto, la estructura física del acuífero es un factor determinante dentro del modelado de los ecosistemas de agua subterránea y de la distribución biótica (Dole-Olivier, 2009).

Aportando dentro de la misma línea, Griebler (2010) determina que, debido a la escasa variabilidad y a la predictibilidad de las condiciones físico-químicas de los ecosistemas de agua subterránea, las comunidades u organismos deben ser sensibles a cambios ambientales. Esto se visualiza cuando la fauna del agua subterránea y los microorganismos tienen el potencial de ser indicadores del estado del ecosistema y sobre los procesos ecológicos fundamentales que ocurren en los acuíferos (Griebler et al., 2010).

Fig.1 Circulación del agua subterránea en un acuífero



Fuente: Custodio y Llamas, 1976

Para comprender las funciones del acuífero que se encuentran en la naturaleza, es relevante destacar la diversidad de estos, según sus circunstancias hidráulicas y estructurales pueden reaccionar de tres distintas formas:

- 1) **Acuífero libre.** El nivel de agua se encuentra por debajo del techo de formación permeable. El agua que cede es el agua que tiene almacenada en sus poros. El volumen de agua es alto y tiene bastante inercia (Villanueva e Iglesias, 1984).
- 2) **Acuífero confinado.** Están absolutamente aislados en el subsuelo, es decir, rodeados de materiales impermeables por todos sus lados. El nivel de agua está por encima del techo del material de acuífero. Está a presión debido al peso de los materiales superiores. El agua que cede está producida por la descompresión de las capas superiores, cuando se produce la depresión en el acuífero.
Acuíferos rápidos con muy poca inercia, debido a su baja capacidad de almacenar agua (Villanueva e Iglesias, 1984).
- 3) **Acuífero semiconfinado.** Los materiales que lo rodean, no son todos impermeables. El paquete superior lo constituyen formaciones semipermeables, que permiten el paso del agua de otros acuíferos superiores al inferior semiconfinado (Villanueva e Iglesias, 1984).

La diferencia entre uno y otro es el tipo de textura de cada uno, además es posible que en algunas áreas exista materiales de baja permeabilidad (como arcilla y lutitas) cerca de la superficie del suelo (Price, 2003).

Abordando desde la textura del acuífero, se destacan tres tipos de materiales:

- a) De permeabilidad con grietas y fisuras, de origen mecánico como de disolución. Estos forman los acuíferos kársticos y fisurados, en ellos se encuentran las calizas, dolomías, granitos y basaltos, los dos primeros son los tipos más importantes. (Villanueva e Iglesias, 1984)
- b) De permeabilidad con porosidad intergranular. Denominados acuíferos porosos y se localizan entre ellos las gravas, arenas y arcosas, en general materiales detríticos con tamaño de grano de arena como mínimo. (Villanueva e Iglesias, 1984)
- c) De permeabilidad que se debe a un conjunto de las dos anteriores causas, llegando al producto de acuíferos kársticos y porosos. Típicos de calcarenitas. (Villanueva e Iglesias, 1984)

Imagen 1. Tipos de acuíferos



Fuente: Las aguas subterráneas un recurso natural del subsuelo, 2009

Las zonas no tienen en su totalidad la impermeabilidad, pero si están más cerca o en la misma superficie restringirán la cantidad de lluvia que humedece el suelo. Si una capa impermeable está localizada debajo de un acuífero, restringe el movimiento de agua por debajo del acuífero, por lo que, si parte del acuífero está cubierto por una de estas capas, el movimiento del agua en el acuífero se restringe tanto que el agua subterránea en el acuífero queda confinada bajo presión. (Price, 2003).

Los acuíferos son generalmente extensos y pueden estar cubiertos o subyacentes por un lecho de confinamiento, que puede definirse como un material relativamente impermeable

estratigráficamente adyacente a uno o más acuíferos. (Todd, 2005). Cada tipo de acuífero se rige por un material y un lugar establecido dentro de la zona.

Es probable que el 90% de los acuíferos del mundo consisten en rocas no consolidadas “sedimentarias” (Todd, 2005), son usualmente granos finos que producen acuíferos engañosos, derivados del granito o de otras rocas cristalinas que usualmente forman buenos acuíferos de arena y grava, particularmente cuando la transportación tiene resultados de buen redondeado en convenientes partículas.

Arena y grava están mezcladas, localizándose entre las rocas sedimentarias no consolidadas, formando acuíferos granulares y no consolidados, esto varía de acuerdo al tamaño de las partículas y en el grado de forma y redondez de la misma, la capacidad de ceder agua varía considerablemente. Producen muy significativas proporciones de agua en varios países. (Pinto, 2012).

Esquema 2. División de acuíferos, según forma de ocurrencia. (Todd, 2005)

Cursos de agua	Valles abandonados o enterrados	Llanuras	Valles intermontanos
Consiste en el aluvión que forma y subyace a los canales de las corrientes, así como la formación de las llanuras de inundación adyacente.	Ya no están ocupados por las corrientes que los formaron, a pesar de que los valles pueden asemejarse a los cursos de agua en la permeabilidad y la cantidad de almacenamiento de agua subterránea, su recarga y el rendimiento perenne son generalmente menores.	Sustentadas por sedimentos no consolidados. En algunos lugares, la grava y las camas de arena forman importantes acuíferos bajo estas llanuras; en otros lugares son relativamente delgados y tienen una productividad limitada. Estas llanuras flanquean las tierras altas u otras características que sirvieron como fuente de los depósitos sedimentarios	Sustentados por tremendos volúmenes de materiales rocosos no consolidados derivados de la erosión de los mantos limítrofes. Los lechos de arena y grava de estos acuíferos producen grandes cantidades de agua, la mayoría de las cuales se repone mediante la filtración de las corrientes.

Fuente: Elaboración propia

2.4. HIDROLOGÍA EN CLIMA DESERTICO

El marco de estudio del acuífero tiene como base estar originado en un clima desértico, por ende, se rige por abundante y constante sequía, esta involucra la disminución del recurso hídrico, ya que no se cuentan con altas precipitaciones anuales por estar determinada más cercana al trópico. En relación a esto, el agua subterránea tiene una predominancia dentro de los recursos naturales que se aportan a la sociedad, ya que se está constantemente requiriendo de sus beneficios.

El Servicio Meteorológico Británico define sequía como un periodo con al menos 15 días consecutivos sin lluvia medible; para su propósito, tomando en cuenta que con “medible” se habla más de 0.25 mm. (Price, 2003)

Siguiendo la misma línea, la Comisión Nacional del Plan Hidráulica define una sequía como *“un fenómeno meteorológico que ocurre cuando la precipitación o el escurrimiento natural de un periodo es menor que su valor normal y cuando esta deficiencia es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas”*. Un gran número de regiones áridas y semiáridas cuentan con capas de materiales permeables, ya sea depositados en cuencas intermontanas o planicies, como resultado de la erosión de las porciones elevadas que las rodean y aquí es característico encontrar acuíferos que sufren de esta situación en los desiertos o en los lugares semidesérticos (Price, 2003).

En algunas áreas la recarga se produce en forma eficaz, ya sea como resultado de lluvias extraordinarias muy intensas que llegan a satisfacer el déficit de humedad del suelo, o como consecuencia de lluvias un poco más frecuentes en las tierras altas que limitan la región desértica. Las fuentes de agua subterráneas se establecen en acuíferos, los cuales podrían asimilarse a ríos o lagos de lenta circulación, su función principal es recargarse de agua para que luego sea descargada, dependiendo para lo que se utilice, es por esto que el acuífero funciona como una de las principales fuentes de recurso hídrico. (Price, 2003). Los acuíferos se recargan principalmente en áreas accesibles a la percolación descendente del agua de las precipitaciones y de corrientes ocasionales. (Todd, 2005).

Los acuíferos pueden ser confinados, cuando se encuentran limitados por placas rocosas que impiden su conectividad con la atmósfera, es decir, se mantienen siempre a presiones mayores que la atmosférica, semi-confinados, cuando están parcialmente sometidos a la presión atmosférica; o no confinados, cuando la presión atmosférica es dominante tanto al comienzo como al final del acuífero. (Hernández y Estados; Faundez y Herreros, 2014)

La manera de almacenar sus aguas, dependen de las rocas que contiene, hacia donde escurre, lugar de ubicación, entre otros. El agua que abandona un acuífero, sucedido este proceso de forma natural, generalmente escurre en sistemas fluviales que estén determinados en cada zona pero si el terreno natural es impermeable, la cuenca va a contribuir con escurrimiento superficial y escurrimiento subsuperficial; sin embargo, también hay cuencas donde existe materiales geológicos permeables y es en estas donde una porción del escurrimiento del río va a estar compuesta por

agua subterránea. Delimitando a partir de la información entregada, que el río va a tener una cuenca superficial y una cuenca subterránea. El agua de un terreno natural que avana hacia un río se denomina la cuenca del río o simplemente cuenca (Price, 2003).

Si bien los acuíferos son fuentes hídricas muy sensibles y fáciles de ser contaminadas, ya sea producto de residuos sólidos provenientes de áreas densamente pobladas, por carreteras y calles mediante el vertido de productos químicos, derrame de fluidos de parte de camiones, entre otros; todo esto produce un impacto grave porque pueden ser inyectados en el sistema de recarga del agua de saturación, tal como lo dice Strahler y Strahler (1996).

En el caso de esta investigación, la contaminación que causan las lluvias estivales, es probable que genere un impacto de gran magnitud dentro de la región, debido que al momento de activarse el paso del recurso hídrico por el sector que tiene previamente establecido mueve los desechos que ahí se encuentran y estos otorgan una contaminación de carácter importante. Es claramente apreciable la amenaza que causa a la población en su totalidad, se ve reflejado en que las aguas constan con un color distinto, el borde costero está constituido en esas fechas por gran parte de residuos, el color del océano se torna café y con él trae una variedad de fauna no habitual.

El otro aspecto que forma parte de la demanda por recursos hídricos relevante en la contaminación es que este es una característica de los sistemas hidrográficos de Chile, que tiene influencia directa en el tema, son la condición de árida y semiárida de parte importante del país, lo que confiere a las aguas naturales elevados niveles de salinidad y restringe o anula las posibilidades de dilución de los contaminantes. También el corto recorrido de los ríos impide que se acumulen en un cauce único los contaminantes originados en áreas extensas. Finalmente, a esto se suma de manera importante, la enorme actividad minera y agrícola desarrollada especialmente en el norte grande. (DGA, 2010)

2.5. Evolución del nivel freático

Esquema 3. Características del Acuífero del Valle de Azapa	
Ubicación	Cuenca del Río San José, entre 430 msnm y la costa (desde Cabuza a la desembocadura del río San José)
Tipo	No confinado en general
Espesor	Entre 20 y 100 metros, de cordillera a mar
Profundidad	20 o 30 metros de profundidad, aunque en sectores puede estar menos profundo
Recarga v/s Consumo	Recarga media de 750 L/s, de preferencia por infiltraciones durante las crecidas del río San José, de hecho, las mayores recargas son en años húmedos. Otras fuentes de recarga son los aportes canalizados desde el río Lauca y las filtraciones de las redes de agua del valle, y mucho mayor en la zona más baja. Los variables, siendo menores en las áreas medias y altas. Las tasas de extracción recomendadas son también potables de Arica (aunque en mucha menor medida). derechos de agua asignados son 3540 L/s, muy por encima de la recarga.
Calidad de agua	Regular. Tiene niveles de sólidos disueltos de entre 600 y 1000 mg/L.
Uso	Dada su mejor calidad respecto al agua del acuífero de Lluta, Azapa es fuertemente empleado, en especial para riego.
Condición	A pesar de la recarga, el acuífero está sobreexplotado. Esto implica la necesidad imperiosa de regular las extracciones desde este acuífero, medida complicada cuando las demandas proyectadas tienden al aumento.

Fuente: Biodiversidad terrestre de la Región de Arica y Parinacota, 2014

El río San José es uno de los principales de la Región de Arica y Parinacota, dado que surte de agua para el riego del valle de Azapa. Se origina en la zona media de su cuenca por la unión de los ríos

Seco y Ticnamar, este último formado por aportes de cursos de agua y afloramientos de agua subterránea que dan origen a bofedales alto andinos. Al producirse eventos de invierno altiplánico (diciembre a marzo), el Ticnamar aporta grandes y repentinos volúmenes de agua al río San José. Cuando ello ocurre, este último desemboca agua al mar. El resto del año y a partir de la localidad de Humagata (ubicada a 1.600 msnm, y a unos 60 kilómetros de la ciudad de Arica) el San José carece generalmente de flujo. (Hernández, Estados, Faundez y Herreros, 2014)

2.6. CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS FENÓMENOS CLIMÁTICOS NATURALES

2.6.1. INTERVENCIÓN NATURAL

Este suceso constituye un cambio en todo el funcionamiento de las regiones del norte de Chile, lo que marca a la población y genera una modificación en su estructura habitual. Proceso que ocurre entre las épocas de diciembre a marzo, justamente en los meses donde Arica y Parinacota recibe la mayor cantidad de personas en calidad de turistas. Centrando la investigación en las precipitaciones generadas durante el invierno altiplánico, estas no ocurren de manera consistente todos los años, registrándose por ejemplo eventos extremos el año 2011, siendo el anterior en 2001. La torrencialidad de las precipitaciones en los meses de verano ocasiona grandes avenidas en los ríos, pudiendo aprovecharse para las actividades humanas sólo una proporción inferior al 10%. (Hernández, Estados, Faundez y Herreros, 2014)

La región al oeste del Altiplano presenta una extrema aridez y gran estabilidad atmosférica (desierto costero de Perú y Chile) debido a la subsidencia en el borde oriental del anticiclón subtropical del Pacífico Sur. En contraste, las tierras bajas al este del Altiplano presentan un régimen tropical-continental, con un máximo de precipitación convectiva durante los meses de verano (diciembre, enero, febrero). En medio de estas condiciones climáticas contrastantes, el Altiplano exhibe un clima de transición, analizado por Schwerdtfeger (1976), Aceituno y Montecinos (1997). Cerca del 80% de la precipitación altiplánica se concentra entre los meses de noviembre y marzo, con un máximo climatológico en el mes de enero. Durante esta estación, referida localmente como Invierno Altiplánico, la precipitación es básicamente originada por tormentas convectivas que se desarrollan durante la tarde y primeras horas de la noche. Los días con actividad convectiva tienden normalmente a agruparse en secuencias de alrededor de una semana (episodios lluviosos), separados por secuencias de días sin convección y de similar duración (episodios secos). (DGA, 2010)

Espacialmente, la precipitación acumulada durante el verano varía en considerablemente, en ocasiones las tormentas se pueden tornar intensas o anormalmente prolongadas, causando inundaciones y aluviones, tanto en el Altiplano como en las vertientes Andinas. Debido a la escasez de precipitaciones durante el resto del año, las precipitaciones estivales aportan casi la totalidad del agua dulce disponible para el consumo humano y para las distintas actividades económicas, especialmente en el sector más seco de la cuenca (Aceituno, 1998)

Esta característica de la circulación zona media sobre el altiplano durante el verano se advierte, a nivel de superficie, como procesos episódicos de advección de aire húmedo desde la cuenca amazónica, los cuales se presentan con una frecuencia decreciente hacia el sur. En los niveles altos de la troposfera, la característica más relevante es el establecimiento de una circulación

anticiclónica durante el verano (Hastenrath, 1991), denominada Alta de Bolivia, cuyo centro se localiza aproximadamente sobre la región altiplánica. El origen y mantenimiento de esta circulación durante esta época del año se asocia al desarrollo de nubosidad cumuliforme de gran desarrollo vertical sobre los Andes Centrales y, principalmente sobre la región sur de la cuenca amazónica (Lenters y Cook, 1996)

Durante el verano la humedad aumenta como resultado de los episodios de advección de masas de aire desde la cuenca amazónica. Esta característica es preponderante en el ciclo anual. (Liberio y Ever, 2009)

La precipitación en el Altiplano se concentra fuertemente durante los meses de verano (diciembre-marzo), como resultado de la intensa actividad convectiva que se desarrolla sobre los andes centrales. Este fenómeno es parte de un proceso estacional de desarrollo convectivo en la región tropical del continente, y que en esta época del año alcanza su mayor intensidad y máximo desplazamiento hacia el sur. En el resto del año, cuando la actividad convectiva se ha desplazado hacia la región noroccidental del continente, los eventos de precipitación son escasos y se asocian más bien a perturbaciones frontales de origen extratropical, que se desplazan desde el pacífico y que tienen un mayor impacto sobre el sector sur occidental del Altiplano (Vuille, 1996)

2.7. INVIERNO ALTIPLANICO

Arica posee el récord mundial de escasez de precipitaciones, pues en toda la zona costera, de los valles y pampas desérticas prácticamente nunca llueve. Pero en la cordillera las precipitaciones aumentan con la altitud en el verano andino de diciembre a marzo (que los chilenos llamamos paradójicamente *invierno boliviano*). Las masas de aire húmedo proceden casi exclusivamente del Océano Atlántico a través de la cuenca amazónica y caen en forma de lluvia y granizo hasta los 4.500 metros de altura y más arriba como nieve o hielo. (Paves, 2008)

En la época de las "lluvias estivales", las precipitaciones son muy intensas, torrenciales y de corta duración, provocando aluviones en las quebradas, causando daños materiales de consideración y cortando el acceso a las localidades de la Provincia del Tamarugal. Hace décadas que muchas personas, erróneamente, insisten en llamarle "invierno boliviano", esto se ha dejado en manifiesto en varias oportunidades, ya que habitantes de distintos sectores de la provincia del Tamarugal, han manifestado que no es posible que existan dos inviernos o que no puede haber un invierno en pleno verano, esto lo definen con el conocimiento ancestral que han desarrollado a lo largo de los años y dejan en claro que este fenómeno no tiene nacionalidad, por lo tanto es erróneo llamarle "invierno boliviano". Es importante que se corrija la forma en que se refiere a este fenómeno climático natural, ya que, si no se utilizan los conceptos oportunos, se está contribuyendo a no preservar la cultura nortina, que tantos años lleva intentando permanecer, además este es un fenómeno que es parte del patrimonio climático del norte de Chile. (Diario la estrella de Iquique, 2011)

El análisis de registros diarios de precipitación en el Altiplano chileno permitió detectar la naturaleza episódica del régimen pluviométrico estival (Aceituno y Montecinos, 1993).

La duración de los periodos húmedos se decreciente hacia el sur. Por otra parte, se ha determinado que los periodos húmedos en el sector norte del Altiplano chileno se caracterizan por una Alta de Bolivia anormalmente intensa y desplazada hacia el sur. Por el contrario, durante los periodos secos, este núcleo anticiclónico se localiza más hacia el norte y es relativamente más débil. (Aceituno y Montecinos, 1993)

Es interesante destacar el hecho de que el máximo forzamiento radiactivo de la superficie altiplánica ocurre inmediatamente antes del inicio de la temporada de lluvias, durante la transición primavera verano. Esto indica que el forzamiento radiactivo, aunque necesario para el desarrollo de la nubosidad convectiva, no es suficiente para iniciarla. Para esto se requiere el establecimiento de un esquema de circulación regional que favorezca la adveccion de vapor de agua desde la cuenca amazónica, lo cual ocurre solo durante los meses de verano. (Aceituno, 1996)

Si bien de acuerdo a la clasificación de Köppen, el clima de esta zona corresponde al Clima Desértico Marginal de Altura, que está influenciado por el centro de baja continental, la atmósfera se presenta con una alta estabilidad permitiendo así una actividad convectiva que en los meses de verano y después de mediodía provoca el desarrollo de grandes masas de nubes que eventualmente precipitan. Se caracteriza además por las precipitaciones estivales las que se concentran durante los meses de noviembre a marzo, siendo éstas más abundantes en el mes de enero con una media mensual de 80 mm, aproximadamente, lo que necesariamente nos insta como Oficina Nacional de Emergencia a mantener un especial monitoreo y establecer los cursos de acción necesarios tendientes a reducir el impacto principalmente en lo que respecta a la población. Las precipitaciones más bajas se producen en los meses de invierno (abril a octubre) llegando a casi 0 mm durante el mes de julio (DGA, 2004).

Desde el año 1998 que se deja en claro las características que constituye el fenómeno climático, el régimen de precipitaciones en el extremo norte de nuestro país y específicamente en la I Región (en ese año aún no se hacía el cambio de región), obedece a una condición climática muy especial diferente del resto del país. En efecto, mientras desde la III Región al sur las lluvias son invernales y se asocian a la acción de los "sistemas frontales", el extremo norte se ve afectado con precipitaciones durante los meses de verano, las que se concentran en las zonas altas de la región, vale decir, el altiplano. (ONEMI,1998)

En la costa las precipitaciones son prácticamente nulas. El mes de mayor caída pluviométrica en el altiplano es Enero, seguido de Febrero, posteriormente se ubican Diciembre y Marzo con muy similar promedio. En el resto del año existe casi ausencia absoluta de lluvias. El origen del llamado invierno Altiplánico es una condición permanente de inestabilidad que se ubica en el centro del continente sudamericano. Durante el invierno se desplaza al norte, afectando a la zona amazónica de Brasil, parte del interior de Colombia. Venezuela y Ecuador y norte del Perú. Durante el verano, siguiendo siempre las mayores temperaturas hacia el sur del continente, afectando a la amazona Peruana, Bolivia, norte Argentino, Paraguay y a las zonas altas del extremo norte de Chile. (ONEMI, 1998)

Un factor determinante para la generación de lluvias es que exista la suficiente humedad en la atmósfera. La condición de inestabilidad que genera las precipitaciones del invierno Altiplánico se nutre de humedad de la evaporación del océano Atlántico, la que es transportada al interior del continente por las corrientes de aire denominadas "vientos alisios". Esta humedad además es reciclada en toda la cobertura vegetal del Amazonas.

Anteriormente en el año 1997 se hizo un estudio sobre el fenómeno en donde se describieron algunas características importantes, las más relevantes de él son: a) la intensidad de las precipitaciones, b) la abundante actividad eléctrica y c) la regularidad horaria de mayor actividad. a) Las precipitaciones son intensas y de relativa corta duración correspondiendo al tipo "chubascos", generados por nubosidad de fuerte desarrollo vertical del tipo convectivo (Cúmulos y Cúmulonimbus). Por la característica gran intensidad y violencia de las precipitaciones, siempre son causantes de daños, independiente del total de agua caída en una temporada estival; en otras palabras. aunque un "invierno altiplánico" sea seco o deficitario en precipitaciones, lo más probable es que igual se registren situaciones de emergencia, ya que por pocas lluvias que se registren, siempre serán violentas e intensas.

b) Las intensas corrientes ascendentes y descendentes al interior de la nubosidad generan frecuentemente actividad eléctrica, como truenos, relámpagos y rayos.

c) La actividad convectiva se ve fuertemente incrementada con el calentamiento diurno, por lo que el mayor desarrollo nuboso y por ende la mayor actividad de precipitaciones se concentra en las horas de mayor calor, es decir entre las 14 y las 18 horas.; de hecho, casi la totalidad de las noches y primeras horas de la mañana predominan cielos despejados o escasa nubosidad y ausencia de precipitaciones.

Por la misma naturaleza de las precipitaciones, la caída pluviométrica es muy irregular. De hecho, bajo una misma condición nubosa y en el mismo período, es posible que se registren enormes diferencias de agua caída entre localidades muy cercanas. Por lo mismo, basta que se concentre un área de cúmulos en un sector para producir intensos chubascos que generen anegamientos, fuera de determinada área de cúmulos se está fuera de peligro. (ONEMI, 1997)

Es así como en la primera región (aún no se realizaba el cambio legal de número de la región), tanto en Enero como Febrero, ambos meses los más activos del Invierno Altiplánico, se registró aproximadamente el doble de agua caída con respecto a un año normal. En detalle en Enero se registró un 102% de superávit y en Febrero un 104%.

Lo anterior se enmarcó dentro de la correlación existente entre la presencia o ausencia del fenómeno el niño y la baja o alta pluviosidad del invierno altiplánico. A comienzos de 1997, existía incluso el fenómeno contrario al de "el niño", conocido como la niña o el anti-niño, lo que corresponde a un enfriamiento del agua del mar, una intensificación de los vientos alisios y por ende a un considerable aporte de humedad desde el atlántico a la zona de inestabilidad continental, responsable del invierno altiplánico. (ONEMI,1997)

Con un aporte de humedad alto, se favorece la formación de nubosidad y por lo tanto la probabilidad de precipitaciones aumenta tanto en frecuencia, extensión como en intensidad. Este año, 1998, estamos en presencia de un niño intenso, de hecho, uno de las más fuertes que se tenga registro, por lo que el aporte de humedad ha descendido considerablemente y debiera esperarse, al contrario del verano pasado, un invierno altiplánico deficitario en precipitaciones. (ONEMI, 1997)

2.8. SOBREEXPLOTACION

2.8.1. EFECTOS EN EL ACUÍFERO

La extracción del agua que es adjudicada, llegando al límite de saturación por parte del hombre, ha comenzado a tener un serio impacto en el medio de muchos lugares. La perforación de gran cantidad de pozos, cuya agua es sustraída en grandes volúmenes merced a las poderosas bombas, ha alterado profundamente el equilibrio natural de carga y descarga de los acuíferos. El aumento de la población urbana y el desarrollo industrial exigen un continuo aporte de agua (Strahler y Strahler, 1996), hay una tendencia del ser humano a exigir cada vez más aporte de agua para su diario vivir, es por esto que busca generar recurso hídrico, sin importar de donde lo obtenga, ni cuánto daño causa su acción.

La explotación inadecuada de las aguas subterráneas puede eventualmente contribuir a la degradación del medio, aún mediante técnicas de captación tan primitivas como las largas galerías, al facilitar el drenaje vertical del agua de la franja no saturada. La explotación intensiva de los acuíferos, tan frecuente en las regiones de clima semiárido y árido, puede favorecer la desertización de forma directa y -más frecuentemente- de manera indirecta, a menudo por la contribución a la salinización de los suelos como resultado del bombeo -concentración por evaporación-infiltración bombeo-.

La litología de la franja no saturada y la eventual existencia de rocas evaporíticas en el subsuelo pueden acelerar los procesos de salinización de las aguas (Pavez, 2008). Es frecuente que en zonas áridas se extraiga mayor cantidad de agua, ya que se utilizan tanto para la agricultura, como para abastecimiento humano y además de mineras que son un gran número en el norte de Chile.

Cuando el hombre inventa sistemas de elevación del agua es cuando comienza la explotación de las aguas subterráneas mediante pozos, eventualmente combinados con galerías drenantes. Las norias de tracción animal ya sí constituyen un sistema de explotación que lleva asociado un mecanismo de control sobre el agua, de forma que la extracción se hace en función de las necesidades, sin que se produjeran “pérdidas” en período de no utilización.

Aunque ha habido ejemplos ancestrales en algunos lugares del mundo (Ej: Francia) de excavación de pozos muy profundos (Puche, 1996), lo más frecuente era la excavación de pozos muy someros que eran paralizados en cuanto que la lámina de agua superaba varios decímetros de espesor.

Los pozos modernos están elaborados para facilitar la irrigación, ya que en ellos se involucran una serie de artefactos, los cuales perforan con potentes máquinas que pueden taladrar unas fosas de 40 cm de diámetro con unas profundidades de 300m o más. Esos, una vez construidos son

recubiertos de un revestimiento metálico que impide la entrada de aguas no potables próximas a la superficie y evita su obturación en caso de desprendimiento de paredes. (Strahler y Strahler, 1996)

A medida que el agua se bombea hacia el exterior, el nivel de este disminuye. Al mismo tiempo el nivel freático de los alrededores desciende formando una especie de superficie cónica denominada cono de depresión. El brusco cambio de gradiente producido en el nivel freático obliga a fluir de mayor intensidad, agua del acuífero hacia el pozo, de manera que este producirá más agua. (Strahler y Strahler, 1996)

La extracción excede, a menudo, a la proporción con la que el acuífero de una región determinada se recarga, tanto por infiltración a partir del agua de lluvia como a partir de los lechos de los ríos. En una región árida, gran parte del agua de saturación destinada a la irrigación proviene de pozos construidos sobre terrenos aluviales arenosos o gravas gruesas. La recarga de estos depósitos depende de los flujos estacionales de agua de los torrentes que tienen su origen en las zonas altas de las cadenas montañosas adyacentes. (Strahler y Strahler, 1996).

Al momento en que la descarga producida en el acuífero, sobrepasa el límite del nivel freático que este tiene predeterminado, es cuando está existiendo una sobreexplotación que conlleva a la contaminación del recurso, producto de que su recarga no es mayor a lo que se está extrayendo, esta agua la mayor parte de los casos se utiliza para el uso que favorece el desarrollo agrícola.

En el Código de Aguas de 1981 existe una regulación para la explotación de las aguas subterráneas que establece, por ejemplo, áreas de protección, prohibición y de restricción, que protegen al acuífero de la sobreexplotación e impiden posibles daños causados hacia otros usuarios.

Sin embargo, hoy en día se siguen presentando casos en que los acuíferos son explotados simultáneamente por varios usuarios de manera independiente, sin derechos de propiedad claramente establecido y, por ende, representan un bien común de libre acceso. Al tener libre accesibilidad al recurso se crean incentivos para explotarlo a una tasa de extracción por encima de la socialmente optima, lo que conlleva a un rápido agotamiento del acuífero que, a diferencia de las aguas superficiales, es un recurso agotable. (Donoso, 1995)

Además, es importante señalar que la sobreexplotación de un acuífero no solo puede agotar el recurso de agua subterráneas, sino también el de las aguas hidrológicas existentes entre ambas fuentes de aguas. De este modo, si un usuario extrae aguas subterráneas de un acuífero sin limitaciones, los derechos sobre las aguas superficiales interconectadas con ese acuífero se verán afectados negativamente. (Donoso, 2004)

2.9. CÓDIGO DE AGUA

Hace 20 años, en el marco de un gobierno que inauguraba una nueva constitución política buscando la refundación del país, se dictó el Código de Aguas de 1981, su fin era el de “crear derecho de propiedad, no sobre el agua misma sino sobre el uso de las aguas, y facilitar por todos los medios el funcionamiento ordenado del mercado”. En relación a esto se define el derecho de una persona sobre el aprovechamiento de aguas, no de propiedad de las aguas. La propiedad es de lejos el sistema que mejor resguarda la función social y la correcta asignación de los recursos. (Buchi, 1993).

Según lo explicado anteriormente, es que existen hoy los acuíferos protegidos, ya que en el año 1992 la DGA modificó los artículos 58 y 63 del Código de Aguas con el fin de prohibir la exploración y explotación de aguas subterráneas en los acuíferos alimentadores de las vegas y bofedales de las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta. Lo anterior debido a que los acuíferos son el sustento de las actividades agroganaderas y de sobrevivencia de las comunidades andinas. Estos cambios en la legislación permitieron establecer medidas de protección de estos ecosistemas únicos y del uso ancestral que las comunidades habían hecho de ellos. Posteriormente, la DGA realizó estudios para identificar y ubicar áreas de vegas y bofedales, delimitar sus acuíferos alimentadores. En 1996 se propugna que en dichas áreas no es posible autorizar exploraciones de aguas subterráneas ni constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas si no se cuenta previamente con una evaluación ambiental favorable a través la Resolución DGA N° 909.

Según el Artículo 14º de la Ley Chilena, para explotar aguas subterráneas deberá previamente constituirse el derecho de aprovechamiento respectivo en la forma establecida en el Código de Aguas, salvo las excepciones legales y el Artículo 15º deja en claro que solamente se podrá constituir el derecho de aprovechamiento sobre aguas subterráneas cuya disponibilidad haya sido comprobada. Por lo tanto, con respecto al acuífero San José de Azapa se tiene que comprobar que su disponibilidad esta adecuada para abastecer y generar un derecho sobre él. (Ley de Chile biblioteca nacional)

La exploración y explotación de aguas subterráneas en Chile, se rigen por las disposiciones del Código de Aguas y la Resolución DGA N° 425, de 2007, que fija normas de exploración y explotación de aguas subterráneas. En la actualidad, el acceso a los recursos hídricos subterráneos se da en general en un escenario de aguda competencia y creciente demanda sobre los acuíferos, ya que es predominante de las zonas desérticas, donde no se obtienen recursos hídricos de todos los lugares.

En general un acuífero, desde el punto de vista de sus recursos hídricos, se caracteriza por un volumen almacenado de agua no renovable y una recarga renovable en el tiempo. El volumen almacenado no es renovable por lo que la explotación de las aguas subterráneas involucradas necesariamente tendrá un límite en el tiempo. La recarga en cambio, corresponde al agua que permanentemente entra al acuífero, agua que siempre lo está alimentando por lo que cualquier explotación con cargo a ella es sustentable en el tiempo puesto que de esta forma el acuífero no se agota. (DGA, 2010)

De esta manera el volumen almacenado no renovable permite una regulación de largo plazo y la recarga es una fuente permanente del recurso que permite planificar la explotación que se haga de un determinado acuífero. Para los efectos de la constitución de derechos de aprovechamiento y la consecuente explotación de las aguas subterráneas, deben concurrir copulativamente, como se adelantó precedentemente, los siguientes requisitos técnicos y legales: i) Que exista disponibilidad de las aguas; ii) Que la solicitud sea legalmente procedente; y, iii) Que no exista perjuicio o menoscabo a derechos de terceros. (DGA, 2010)

A su vez, el sostenido crecimiento económico experimentado por el país durante el último tiempo ha generado demandas cada vez mayores sobre los recursos hídricos. Este crecimiento sostenido, se produce en un contexto en el cual las aguas, en una buena medida, ya están comprometidos en el abastecimiento de los usos actuales. En relación a la evolución de la demanda por recursos hídricos podemos mencionar los siguientes aspectos: La demanda por recursos hídricos, se caracteriza por su creciente incremento, con fines domésticos, industriales, energéticos, mineros y además como es el caso de la investigación con fines para agricultura o agua potable.

En este aspecto es importante destacar que la creciente valorización del medio ambiente, constituye una variable más a considerar en la demanda de recursos hídricos, ya que se ha masificado la constitución de derechos de aprovechamiento sujetos a la reserva de caudales para la conservación de los ecosistemas fluviales respectivos.

2.9.1. NORMAS PARA EL OTORGAMIENTO DE AGUA

El código de aguas de 1981 establece que las aguas subterráneas son bienes nacionales de uso público. Para la constitución de un derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas deben cumplir los siguientes requisitos: (i) el interesado debe presentar una solicitud de la DGA; (ii) acreditar la existencia de aguas subterráneas; (iii) comprobar la disponibilidad; y (IV) que a solicitud sea legalmente procedente (Donoso, 2004)

Adicionalmente, el código de aguas y la resolución de la DGA N° 186 de 1996, establecen tres instrumentos que dispone el director general de aguas, para proteger los acuíferos y a los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas. Estos instrumentos corresponden a las denominadas limitaciones a la explotación de aguas subterráneas y son las siguientes:

- Reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas. Con este instrumento se persigue proteger a titulares de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de la explotación que hagan otros usuarios. El efecto es la reducción temporal del ejercicio, a prorrata de ellos.
- Área de restricción. Las áreas de restricción están constituidas por aquellos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en los que exista riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él. La declaración de área de restricción la efectúa la DGA a petición de

cualquier usuario del respectivo sector, sobre la base de antecedentes históricos de explotación de sus obras de captación, que demuestren la conveniencia de restringir el acceso al sector. Declarada un área de restricción, la DGA podrá exigir la instalación de sistemas de medición y requerir la información que se obtenga en todos los pozos comprendidos en ella. La declaración de un área de restricción da origen a una comunidad de aguas formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendida en ella.

- Zona de prohibición. La DGA puede declarar zonas de prohibición para nuevas explotaciones, mediante resolución fundada en la protección del acuífero, la cual debe publicarse en el Diario oficial. También, corresponde a la DGA dictar las resoluciones pertinentes relativas a la mantención o alzamiento de la prohibición de explotar, a petición justificada, si así lo aconsejan los resultados de nuevas investigaciones respecto de las características del acuífero o la recarga artificial del mismo.

Se puede afirmar que, en la actualidad, hay consenso en la región acerca de que los enfoques sectoriales y fragmentados del pasado, en lo que a la gestión de los recursos hídricos se refiere, están llevando a conflictos crecientes, uso ineficiente y deterioro del recurso (Solanes y Getches, 1998). Gradualmente está ocurriendo un cambio de paradigma en los enfoques, con un cambio de un enfoque fragmentado por sectores usuarios, hacia un enfoque más integrado. Este proceso se manifiesta en una profunda reorganización de los aparatos estatales orientados a la gestión y el aprovechamiento del agua.

Lo que genera esta reestructuración es la asignación de las responsabilidades de formular políticas hídricas, de coordinar el uso múltiple del agua, de regular su asignación y supervigilar a los usuarios a un ente regulador o coordinador no usuario, independiente y separado de los ámbitos de usuarios tradicionales –como la agricultura, la energía hidroeléctrica y el abastecimiento de agua potable y saneamiento–, que considere el recurso hídrico integralmente y en su totalidad. En cuanto a la estructuración de entidades encargadas de la gestión del agua, se aprecia una tendencia incipiente a asegurarles capacidad profesional y financiera, e independencia. En donde varios agentes participen en esta y contribuyan a la elaboración de ideas. (Jouravlev, 2001)

A la DGA le compete:

- (i) planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento;
- (ii) otorgar los derechos de aprovechamiento de aguas;
- (iii) investigar y medir el recurso;
- (iv) ejercer la policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público;
- (v) supervigilar el funcionamiento de las organizaciones de usuarios.

Participa además en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, que coordina la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), creada en virtud de la Ley No 19.300, “Ley de Bases del Medio Ambiente”, del 9 de marzo de 1994. Desde el punto de vista de su organización geográfica,

la DGA tiene trece Direcciones Regionales, que abarcan todo el territorio del país, y ha sido su política permanente ir delegando funciones en sus Jefes Regionales.

Una de las entidades públicas que está involucrada en la toma de decisiones es la Dirección de Obras Hidráulicas, un servicio dependiente del MOP, que tiene como misión desarrollar obras hidráulicas dentro de un contexto de manejo integrado de cuencas hidrográficas, propendiendo a un uso eficiente de los recursos disponibles.

Esta labor se lleva a cabo participando activamente en la planificación del uso de los recursos hídricos y mediante la evaluación, diseño, construcción y conservación del conjunto de las obras hidráulicas de la cuenca, tales como riego, drenaje, colectores de aguas lluvia, manejo de cauces, defensas fluviales, proyectos de abastecimiento de agua potable en áreas rurales, control de crecidas y captación de aguas subterráneas.

La estructura institucional vigente tiene ciertas ventajas, ya que la DGA es un ente no sectorial e independiente de los sectores usuarios, y que no ejecuta por sí obras de aprovechamiento, lo que le permite desempeñar su rol regulador y normativo con gran imparcialidad, evita la distorsión de la función reguladora y favorece el desarrollo económicamente eficiente de los aprovechamientos sectoriales.

Sin embargo, se observan varios problemas debido a la ausencia de una gestión integrada de los recursos hídricos, entre los que se destacan los siguientes:

- (i) administración de los recursos hídricos a nivel de secciones (o tramos) de ríos y no a nivel de cuencas;
- (ii) interferencias entre el uso de las aguas subterráneas y superficiales, las cuales se manejan en forma independiente;
- (iii) gestión independiente de los aspectos relativos a la calidad y a la cantidad de las aguas;
- (iv) uso del agua exclusivamente para fines sectoriales. Para superar estos problemas, se han propuesto algunas modificaciones al Código de Aguas, que actualmente están siendo debatidas, de modo de fortalecer algunas funciones de la DGA y favorecer la gestión integrada del agua. (Jouravlev, 2001)

En Chile, el sector de abastecimiento de agua potable y saneamiento fue reformado a fines de los años ochenta. La reforma, que tuvo como objetivo separar las funciones normativas y fiscalizadoras de las de prestación de los servicios, abarcó dos aspectos: la reforma al entorno regulador y la transformación en la modalidad de prestación de los servicios. Respecto del primer aspecto, para asumir las funciones de regulación y control del sector, se creó, mediante la Ley No 18.902, del 27 de enero de 1990, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Es un organismo funcionalmente descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, adscrito al MOP.

Respecto del segundo aspecto, se estableció el régimen de concesiones otorgadas en forma indefinida a empresas públicas, privadas o mixtas, organizadas conforme al régimen de sociedades anónimas abiertas, y se creó un sistema de trece empresas públicas regionales que operan como filiales de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), el organismo público encargado de

impulsar la actividad productiva nacional, que es su accionista principal y administrador a través del Sistema Administrador de Empresas (SAE).

Estas empresas públicas regionales, rentables y eficientes, servían a más del 90% de la población mientras que el resto estaba servido por pequeñas empresas privadas y una municipal. A mediados de los años noventa, el Gobierno decidió promover la incorporación de capital privado en las empresas públicas regionales. Las principales razones eran la necesidad de financiar la expansión de los servicios y, sobre todo, de invertir en plantas de tratamiento de aguas servidas, y la decisión de no utilizar para estos fines los ingresos generales del gobierno. Las necesidades de inversiones en el sector de abastecimiento de agua potable y saneamiento en los próximos 10 años se estiman en unos dos mil quinientos millones de dólares, de los que mil seiscientos corresponden a tratamiento de aguas servidas (Brown y Saldivia, 2000).

Finalmente, las enmiendas al marco regulatorio permiten que el Estado mantenga el control de al menos el 35% de la propiedad de cada una de las empresas regionales, lo que le otorga el poder de veto sobre algunas decisiones (puede reducir su participación en las empresas si no está en condiciones de contribuir a aumentos de capital, pero mantendrá el poder de veto por 10 años mientras su propiedad no sea inferior al 10%). (Jouravlev, 2001)

Capítulo III. Marco Metodológico

3.1. METODOLOGÍA APLICADA

La presente investigación se desarrolla en base a un diseño de análisis espacial de carácter mixto. Este enfoque es llevado a cabo respecto a que los objetivos que se adjudican en la investigación tienen una visión determinante al momento de configurar la relación que se otorga entre el uso humano y los fenómenos naturales, los cuales en su conjunto posteriormente sirven para analizar la sustentabilidad socio-ambiental del acuífero San José de Azapa y la situación de vulnerabilidad a la cual se ve expuesto.

Este tiene relación con analizar el contenido y relacionarlo con los instrumentos que se utilizan. El enfoque es mixto debido que se trabaja tanto con datos duros como lo es la información que entrega la DGA, INE, documentos, entrevistas y trabajo de campo que den cuenta del problema. Cuya finalidad es comprender y analizar los efectos que han tenido los dos conceptos relevantes en esta investigación. La relevancia de la fuente de origen bibliográfico, es determinante ya que contienen información sobre la base del estudio, éstas son libros, artículos, diarios, tesis, censos y documentos con datos concretos sobre el tema a investigar.

En este sentido el enfoque principal de la investigación es cuantitativo, basándose en la ocupación de imágenes satelitales descargadas mediante el Landsat 8 y Landsat 5 con la finalidad de catastrar información determinada durante los últimos treinta años, así comprender un contraste entre los procesos históricos que ocurren en el Valle de Azapa.

Además, se utilizan las variables cuantitativas climáticas, basadas en el invierno altiplánico dependiendo de la magnitud en la que se hace presente cada año, datos pluviométricos los cuales determinan la recarga/descarga del acuífero. Estas serán correlacionadas llevando a un resultado de causa-efecto entre las variables.

Dentro del análisis es preponderante el trabajo en terreno que se efectúa en el área de estudio, debido a que tanto el registro fotográfico, las notas de campo y la interpretación adjudicada conlleva a una forma de trabajo primario.

Finalmente es indispensable constar con apoyo de bibliografía que genere conocimiento sobre la investigación; asimismo generar un análisis de las normativas esenciales que ayuden a vislumbrar el rol de las entidades estatales en el área de estudio. La información que otorgan estas fuentes se ven reflejadas en el resultado del análisis conformado lo que se presentara a partir de una caracterización social y natural de la zona a estudiar, detallando los componentes que se encuentran en el sector, suelo, clima, vegetación, incluyendo la variable social aborda desde datos socio-económicos, demografía, entre otros.

Cada una de las técnicas utilizadas, está detallada por la concreción de los objetivos del estudio, aquí se podrá entender los métodos de recolección y los métodos con los cuales se analiza la información arrojada.

3.2. UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio está localizada al norte de Chile en la XV región de Arica y Parinacota fundamentada en la localidad de Azapa, específicamente como área de estudio se entiende el acuífero San José de Azapa ubicado en la cuenca del río San José de Azapa.

3.3. DISEÑO METODOLOGICO

Objetivo general: Analizar la forma en que se determinan y relacionan el uso humano y los fenómenos naturales con el estado de sustentabilidad socio ambiental del acuífero San José de Azapa durante los últimos 30 años.		
Objetivos específicos	Técnica recolección	Técnica de análisis
1. Identificar y caracterizar los usos humanos y fenómenos naturales que determinan la sustentabilidad socio-ambiental del acuífero San José de Azapa.	<p>Trabajo de campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Registro fotográfico • Notas de campo (Fichas de observación) <p>Recogida documental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Imágenes satelitales y aéreas • Coberturas cartográficas 	<p>Análisis de fichas de observación</p> <p>Análisis espacial a través de Arcgis</p>
2. Analizar las transformaciones que han efectuado el uso humano y los fenómenos naturales sobre el acuífero San José de Azapa	<p>Recogida documental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Imágenes satelitales • Recopilación de coberturas cartográficas • Elaboración de cartografías temáticas <p>Trabajo de campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Notas de campo (ficha de observación) 	<p>Análisis espacial a través de Arcgis</p> <p>Análisis comparativo de imágenes satelitales</p> <p>Análisis de fichas de observación</p>
3. Relacionar las transformaciones del acuífero San José de Azapa con las actuales condiciones de sustentabilidad socio-ambiental.	<p>Recogida documental:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Artículos científicos • Textos de especialidad <p>Trabajo de campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Notas de campo (Fichas de observación) 	<p>Análisis de contenido</p> <p>Análisis de fichas de observación</p>

3.4. Objetivo específico 1 “Identificar y caracterizar los usos humanos y fenómenos naturales que determinan la sustentabilidad socio-ambiental del acuífero San José de Azapa”

Para poder identificar y caracterizar los usos que determinan la sustentabilidad del acuífero, se recurrirá primeramente a un trabajo de campo desde el cual se analice la información encontrada en terreno, además de conocer y estudiar de manera detallada la zona de estudio, comprender los procesos que se viven en ella, cuáles han sido los cambios a los que ha estado expuesta los últimos treinta años y también dejar un registro por medio de la fotografía, fichas de observación y entrevista que se realizaran a personas claves.

Los fenómenos naturales y factor antrópico están relacionados y ayudan a comprender el comportamiento que ha adquirido el área de estudio, por lo que, el presente trabajo a terreno integra una visión resolutive del Valle de Azapa con respecto al habitar de los pobladores como también describe el accionar que ha desarrollado la geomorfología, hidrología y las variables naturales en su conjunto.

Es por esto, que el trabajo de campo tiene una estructura a seguir ordenada sus actividades en la Carta Gantt:

Entrevista a pobladores y estudiosos del Valle de Azapa.

Recopilación de información mediante material fotográfico.

Recopilación de información mediante documentación de cada una de las entidades estatales participantes (DGA, INE, ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE ARICA Y PARINACOTA, CIREN).

Recopilación de shape de la zona de estudio.

Análisis de documentos bibliográficos como lo son textos, tesis, documentos con datos duros, seminarios y diarios.

Análisis de la normativa de agua desde documentos elaborados por la DGA como por lo que establece la ley.

3.5. Objetivo específico 2 “Analizar las transformaciones que han efectuado el uso humano y los fenómenos naturales sobre el acuífero San José de Azapa”

Se analiza la documentación obtenida en el trabajo de campo, la revisión bibliográfica y las imágenes satelitales que demuestran las transformaciones en el área de estudio durante los últimos 30 años, esto ayuda para obtener información por medio del análisis de documentos como también por el análisis de las imágenes satelitales, ya que estas muestran como el paso del tiempo a intervenido el territorio. Por lo tanto, el método utilizado para el análisis será una vez recopilado toda la información, relacionarla entre sí y así, se determina según uso humano y los fenómenos naturales presentes.

Es importante trabajar cada uno de los instrumentos de análisis por separados, para comprender específicamente, luego de lograr obtener información específica se procede a contrarrestar la información.

3.6. Objetivo específico 3 “Relacionar las transformaciones del acuífero San José de Azapa con las actuales condiciones de sustentabilidad socio-ambiental”

Se basa en recopilar información por medio de artículos científicos que den cuenta de las transformaciones que ha tenido el acuífero durante los últimos 30 años, determinado por las condiciones que tanto el ser humano como los fenómenos naturales, aportan en su sustentabilidad. Se debe analizar la información encontrada y relacionarla con los procesos que han intervenido en el debido funcionamiento del acuífero. En conjunto con la información analizada, se utilizan las entrevistas y las notas de campo, por medio de las fichas de observación, para actualizar en qué estado se encuentra socio-ambientalmente el acuífero.

3.7. Trabajo en terreno

El trabajo en terreno es una de las técnicas de recolección que más aporta en la investigación, debido que por medio de este se recopila la información desde el área de estudio y se puede analizar in situ los procesos que han sucedido o están sucediendo, por lo tanto, entrega información con mayor precisión sobre la sustentabilidad del acuífero y los factores externos que lo afectan.

Por medio del trabajo de campo, se busca obtener un análisis de las características del área de estudio y cómo se vislumbra en el presente, además de conversar con los agentes claves sobre la actividad principal a la que se dedican, la cual es la agricultura, cuáles han sido los inconvenientes para dedicarse a ella y recopilar información con respecto a el abastecimiento de agua.

Para desarrollar el trabajo de campo, previamente se establecen tiempos y trabajos que se van a realizar, determinados por días y por horarios, las entrevistas de los agentes claves están previamente elaborada para sacar provecho del trabajo en terreno. En la investigación se abordan 2 aspectos de manera global para luego ser estudiados de manera específica, estos son: aspectos del uso humano que está influyendo en el territorio y los fenómenos naturales que determinan el acuífero. Dentro de cada uno de estos se caracteriza: tipo de suelo, indicadores de desarrollo, derechos de agua, tecnificación del riego y lluvias estivales.

Cada una de estas variables, enriquece la investigación con información que ayuda a entender la sustentabilidad del acuífero San José de Azapa.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

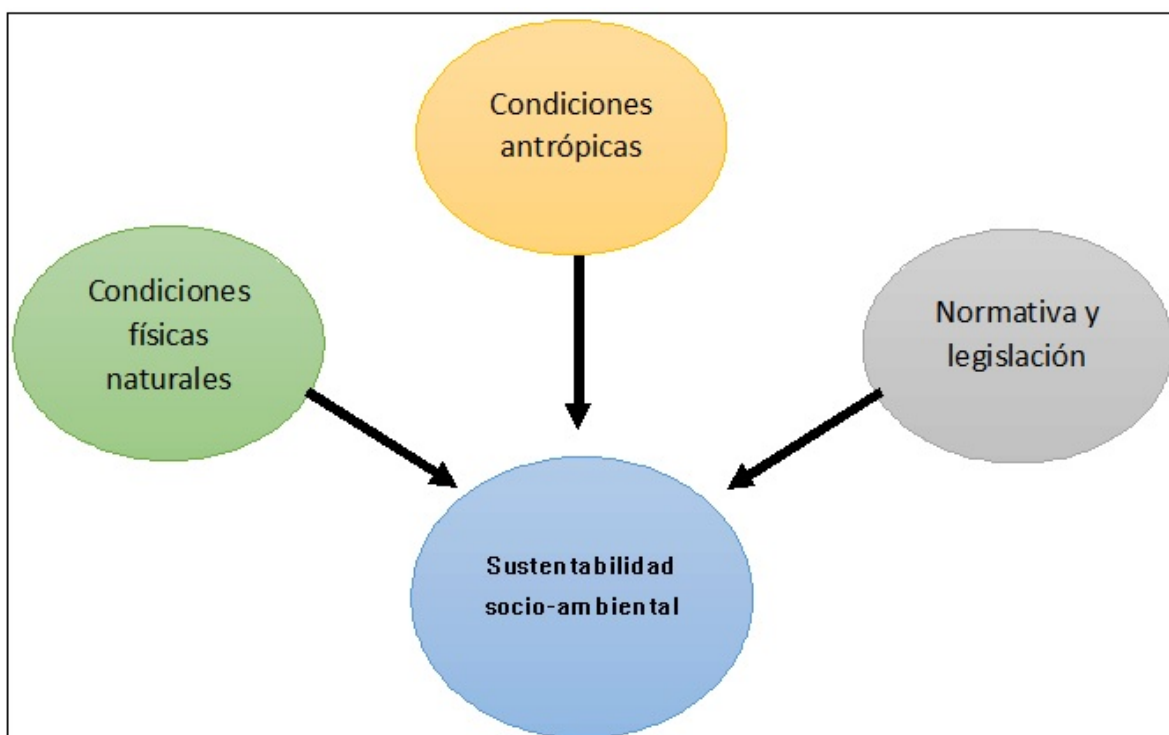
4.1. ESTRUCTURA DE LOS RESULTADOS

La estructura del capítulo se desarrolla en base al orden que se les dará a los datos para que por medio de ellos se realice un análisis estructurado y coherente con la información entregada. El enfoque es sobre cada uno de los conceptos y características que arroja la investigación, la cual tienen una relación directa con la sustentabilidad que ha construido el acuífero San José de Azapa durante los últimos treinta años.

Estos resultados están alineados y se despliegan estrictamente de las técnicas de recolección y análisis que están descritas en la metodología, estas son encargadas de contextualizar y resumir el proceso para llegar a los resultados esperados, así se establece la estructura que se enfoca en el cumplimiento de cada uno de los objetivos. Este proceso se hace efectivo en cada uno de los casos estudiados dentro del acuífero San José de Azapa.

De este modo, los sucesos de la investigación en relación a sus condiciones y el estado de las dinámicas tanto físico naturales como las humanas, se basan en un estudio sistematizado de los conceptos relevantes en cada apartado y está categorizado en el siguiente mapa conceptual.

Esquema 4. dimensiones resultantes



Fuente: elaboración propia

En base a lo señalado en el esquema se determinan las variables principales para comprender la sustentabilidad del acuífero san José de Azapa y se explica dentro de cada variable los usos que se le dan al suelo del valle de Azapa como también los fenómenos externos que afectan la sustentabilidad del acuífero.

4.2. CARACTERIZACIÓN USOS HUMANOS Y VARIABLES FÍSICAS NATURALES

4.2.1. TIPO DE SUELO

Mediante el trabajo en terreno y la revisión de bibliografía referida a caracterizar los diversos usos que le da el humano al valle de Azapa, es que se demuestra la base para entender las relaciones que determinan la configuración de la naturaleza predominante en el área de estudio. Es por esto, que se hace un compilado de toda la información que respecta al uso del suelo y cómo sus prácticas afectan directamente la sustentabilidad del acuífero.

Primeramente, se trabajó con información sobre el tipo de **suelo** que existe en el valle de Azapa, ya que se debe tener registro de por qué el valle es utilizado en su mayoría para la agricultura, cuáles son los principales productos que se utilizan para la agricultura, y cuanto le corresponde a cada familia en términos de derechos de agua. Para esto se recopilaron documentos e información desde entidades gubernamentales como lo son la CORFO y la Comisión Nacional de Riego.

Por medio de los estudios realizados por la CORFO es que se determina que los suelos del valle tienen una estratificación marcada producto de los procesos depositacionales (IREN-CORFO, 1976). Tal como menciona Meléndez y Wright (1961) en la parte baja del valle hay estratos gruesos con poca fluctuación de textura que representa el 24,0% de la superficie agrícola. En la parte media a baja del valle se presentan suelos aluviales profundos que ocupan un 27,7% de la superficie del valle.

El sector medio superior del valle (kilómetro 20 al 32 aprox.) tiene un subsuelo estratificado con suelos generalmente profundos, texturas medias, colores pardos, estructura de bloques subangulares, friables, ligeramente plásticos, ligeramente adhesivos, buena permeabilidad, bien a excesivamente drenados y ocupan el 14% de la superficie del valle. En cambio, IREN-CORFO (1976) destaca que la superficie del valle son suelos que ocupan la caja del río San José, muy delgados, de color pardo, textura gruesa, con abundancia de piedras, sin estructura y permeabilidad muy rápida.

Las Clases de Capacidad de Uso de los suelos del valle, son un 62% de la superficie clasificada como Clase II y IV; no existen suelos de clase I ni VIII. Abordando los valores del Ph, Torres (1999) destaca que entre el km 4 al 16 del valle de Azapa los valores son homogéneos, algunos 7,9 y el alcance mínimo es de 7,5, por lo que, son suelos ligeramente alcalinos a moderadamente alcalinos.

Tabla 1. Capacidad de uso de los suelos del valle de Azapa

CLASE DE CAPACIDAD DE USO	SUPERFICIE (ha)	PORCENTAJE (%)
I	-	-
II	747,6	21,6
III	825,2	23,8
IV	574,0	16,6
V	-	-
VI	210,7	6,1
VII	1.063,6	30,7
VIII	-	-

Fuente: IREN-CORFO, 1976

A través de los estudios que realizó la CNR (Comisión Nacional de Riego) (2016) se obtuvo información con respecto a las características pedogenéticas que destaca en el Valle de Azapa, por tanto, esto determina la utilización del suelo mayoritariamente para la agricultura.

En conjunto con esto, se recopilan datos sobre el uso actual del suelo, las posibilidades de que el riego sea distinto al tradicional y los aspectos ambientales a los que está expuesto el suelo en el Valle de Azapa. En este territorio, predomina el suelo apto para plantaciones agrícolas, ya que el área que comprende los valles de los ríos Lluta, San José y Camarones son áreas cultivables.

Además, se señala en el gráfico la categoría de drenaje que tiene cada uno de los suelos, esto elabora un análisis ya que dentro del Valle de Azapa se encuentran los suelos con categoría 3 imperfectamente drenados, 4/5 adecuadamente drenados y 6 que son los predominante con excesivamente drenados, en este caso no existen problemas de drenaje, ya que esta zona se caracteriza por tener un buen drenaje.

Tabla 2. Series de suelos del Valle de Azapa.

SERIE	AREA [Ha]	VARIAC. SERIE	CAPAC. USO	CATEG. DREN.	APTITUD FRUTAL
ACHA (ACH)	632	ACH-4	IVs	5	E
AUSIPAR (AUS)	524	AUS-1	VIII	6	E
AZAPA (AZP)	78	AZP-2	IIIs	5	D
BUENAVISTA (BVA)	38	BVA-1	VII	6	E
CABUZA (CAB)	448	CAB-1	IIs	4	D
CONCORDIA (CON)	506	CON-2	VII	6	E
DIABLO (DIA)	174	DIA-2	IIIs	6	D
HIGUERANE (HIG)	148	HIG-1	IIIs	6	E
LLOSAS (LLY)	336	LLY-5	IIIs	6	D
LLOYLLAS (LLO)	700	LLO-2	III	6	D
SAVONA (SAV)	532	SAV-1	II	4	C
SOBRAYA (SOB)	628	SOB-4	II	3	D
Total	4744				

Fuente: Comisión Nacional de Riego, 2003.

Con respecto al uso que se le da al suelo, se comprende que el valle de Azapa se desarrolla principalmente para la agricultura de riego intensiva, la cual está orientada hacia la producción frutícola, fundamentalmente como destaca Torres y Acevedo (2008) son el olivo (*Olea europaea* L.),

en mejor grado mango (*Mangifera indica* L.) y palta (*Persea americana* Mill), y hortícola, tomate (*Lycopersicon esculentum*), morrón (*Capsicum annuum* L.), maíz híbrido (*Zea mays* L.), poroto (*Phaseolus vulgaris* L.). El producto característico del valle de Azapa, por lo tanto, es el olivo, debido a que existían una gran cantidad de olivos y era una buena fuente de ingreso para las comunidades que habitaban el valle en los años 80 aprox.

Teniendo estos antecedentes es que se analiza la construcción total del valle de Azapa, el cual es habitado mayoritariamente por familias que se dedican a la agricultura, debido a que han trabajado la tierra generacionalmente pero también existe un porcentaje de tierras que son utilizadas por semilleras o empresas de exportación.

Los resultados son elaborados desde el trabajo de campo, en el cual se desarrollaron dos entrevistas semi estructuradas, las cuales aportaron con información esencial sobre el uso del suelo.

4.2.2. Lluvias estivales

En la revisión de documentos científicos, se aporta información con respecto al fenómeno natural denominado "lluvias estivales" (diciembre a marzo), esta información es obtenida mediante la DGA y Aceituno. En relación a la información obtenida se destaca que las lluvias estivales son predominantes en el Altiplano y por una parte el agua se infiltra escurriendo como agua subterránea, siendo fuente de alimento para los acuíferos, el resto actúa como agua superficial activando el río San José de Azapa.

Por lo tanto, los procesos físicos que son generados y aportan precipitaciones, son los que determinan la magnitud de recurso hídrico que se desarrolla en el área de estudio, ya que si ocurren en mayor o menor grado afectan el funcionamiento total.

Gráfico 1. Precipitación en el norte de Chile

Precipitación anual

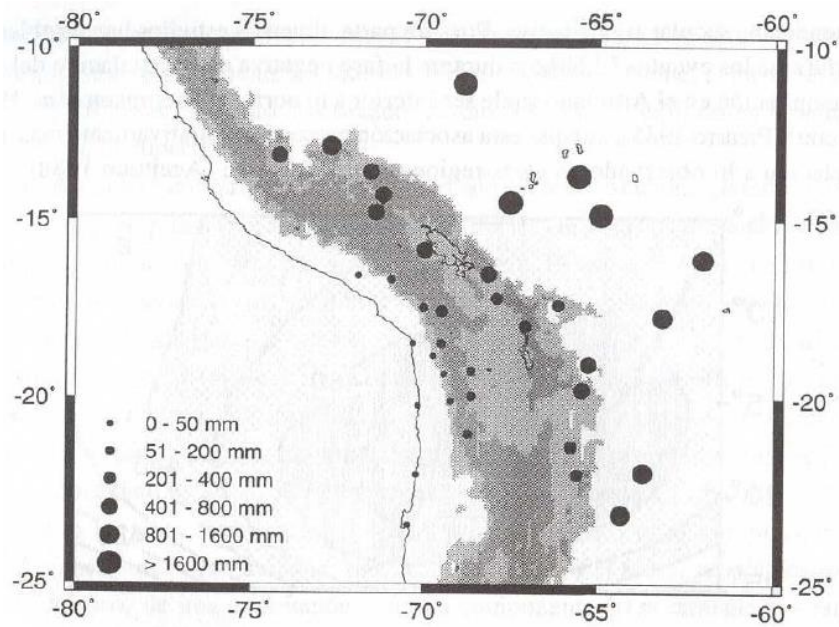
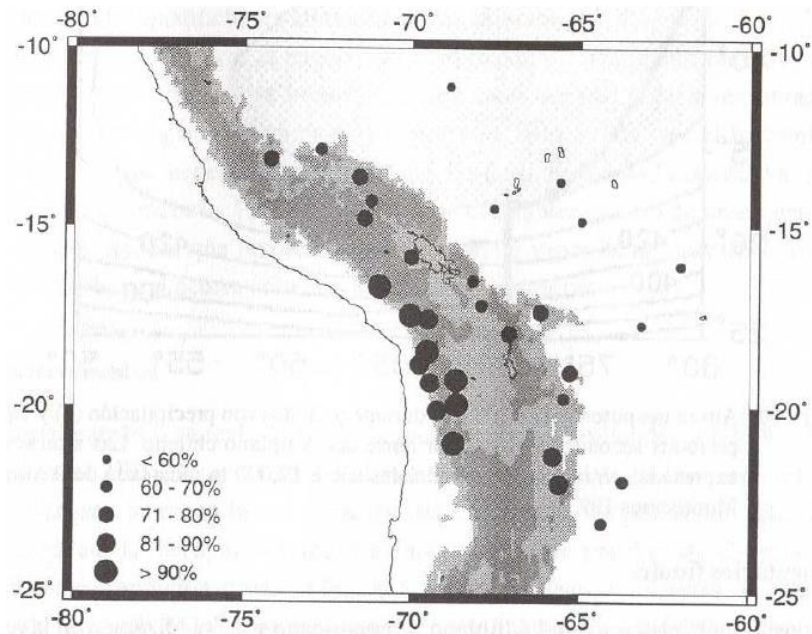


Gráfico 2. Concentración porcentual de la precipitación anual diciembre-marzo



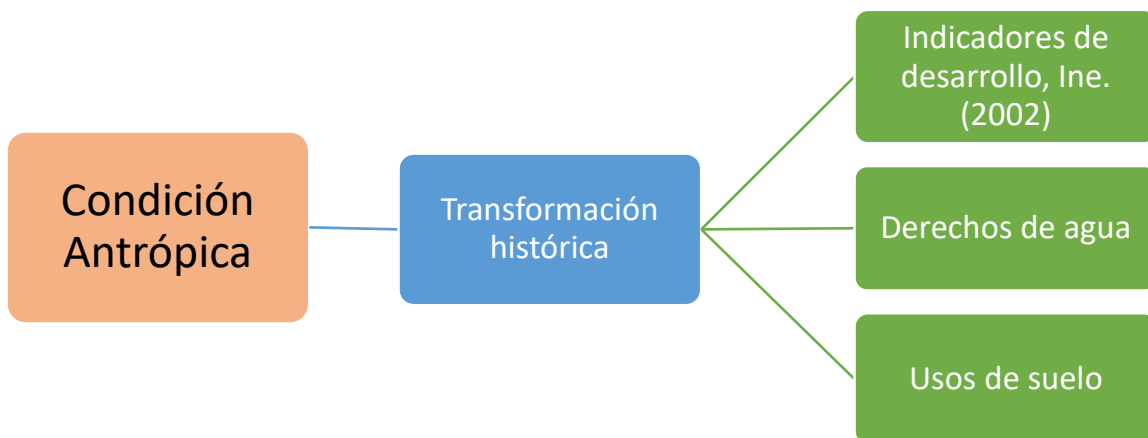
Fuente: Elementos del clima en el altiplano Sudamericano. (Aceituno, 1996)

Es importante tener presente que en general, la precipitación es sectorizada, es decir, en algunos puntos de la cuenca precipita y en otros no. Esta distribución espacial puede generar que los aportes intermedios tomen relevancia en relación al caudal generado agua debajo de la estación de medición.

4.3. Condiciones antrópicas

El efecto de la condición que ha adquirido el ser humano se comprende mediante cómo él ha ejercido su rol en la zona que habita, es por esto que se consideran tres años en los cuales se muestra como se ha modificado el lugar. Ya que los sistemas de riego que utilizaban años anteriores no les estaba siendo rentable, por lo tanto, buscaron la forma de adecuarse a las consecuencias de vivir en una región con clima desértico e implementaron diversas estrategias para conservar y ampliar la agricultura.

Esquema 5. Condición antrópica que determina la transformación del suelo



Fuente: Elaboración propia

4.3.1. Indicadores de desarrollo

Los resultados que contienen este punto, se elaboran a través de datos que determinan la influencia de la población en el Valle de Azapa, por tanto, se visualizan los datos en gráficos que analizan la distribución de la población durante los últimos 30 años.

Además, el INE (2002) entrega Bases de Datos de los Censos Agrícolas que se realizaron mediante los años 1997 y 2007, por lo que, se relaciona los indicadores de años anteriores con los de recientes para dejar establecido que han existido modificaciones en el ámbito de la agricultura del Valle de Azapa.

Tabla 3. Censo agrícola

REGIÓN	Población Estimada ¹		Superficie (Km ²) ²	Densidad (Hab/ Km ²)
	Miles de personas	Porcentaje		
TOTAL	17.819,1	100,0	2.006.096,3	8,9
Arica y Parinacota	235,1	1,3	16.873,3	13,9

Fuente: INE, 2002

Según los resultados en 1993 se produce un aumento en las demandas de agua para riego, como producto de un fuerte aumento en las demandas de agua para riego esto ocurre por el aumento de la actividad agrícola en la zona.

Superficie regada

I Región de Tarapacá (1997) 8.035,30 ha.

XV Región de Arica y Parinacota (2007) 11.167,86 ha.

Fuente: Ine, 1997 y 2007.

Es relevante mencionar que antes que se revelaran las riquezas naturales con las que cuenta el valle de azapa, existían comunidades indígenas que trabajan la tierra hace muchos años atrás, por lo tanto, según los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas (2002), la distribución étnica en la región está basada en diversos grupos, estos son Alacalufe, Atacameño, Aymara, Colla, Mapuche, Quechua, Rapa nui, Yamana. Debido a esto, se obtuvo datos que del total de 189.644 habitantes de la región de Arica y Parinacota, los grupos indígenas representan un 15,5% del total. Representando los Aymaras la mayoría de la población étnica en la región de Arica y Parinacota.

Según los datos entregados por el Censo del año 2012, se mostró un aumento de la población y de la distribución indígena del país. En la siguiente tabla se muestra la variación de la población indígena desde el censo 2002 hasta el censo 2012.

Tabla 4. Distribución étnica en la región de Arica y Parinacota. Censo 2002 y Censo 2012

PUEBLO ORIGINARIO (2002)	TOTAL (H Y M)	PUEBLO ORIGINARIO (2012)	TOTAL (H Y M)
ALACALUFE	39	-	-
ATACAMEÑO	494	-	-
AYMARA	25.730	AYMARA	49.945
COLLA	172	COLLA	226
MAPUCHE	2.571	MAPUCHE	6.084
QUECHUA	394	QUECHUA	1.457
RAPA NUI	37	RAPA NUI	23
YÁMANA	47	YÁMANA	19
-	-	DIAGUITA	1.054
-	-	KAWÉSQAR	15
-	-	LIKAN ANTAI	152
-	-	YAGÁN	19

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del censo 2002 y 2012

Se observa una población configurada mayoritariamente por adultos mayores; las comunas rurales de esta región no muestran señales de altos nacimientos, sino de un proceso gradual de envejecimiento, el que se profundiza por la opción progresiva de las personas que residen en las ciudades, por el regreso a sus comunas de origen luego de jubilar o terminar su vida productiva urbana.

4.3.2. Sistema de riego

En el valle de Azapa, el riego mecanizado especialmente el sistema por goteo se ha masificado entre los agricultores a contar de los años 90. Según el último censo agropecuario (INE, 2008), la región de Arica y Parinacota cuenta con una superficie de 2012,63 hectáreas regadas con el sistema de riego por goteo, cifra que se concentra principalmente en el valle de Azapa.

La tasa de riego media para el valle de Azapa se estima en 8.200 m³/ha/año, considerando la superficie de los cultivos principales, evaporación de bandeja clase A y métodos de riego utilizados. Un agricultor que posee 1 acción de agua del canal Azapa y un predio de 1 ha, en un año medio enfrenta un déficit de 20%, lo cual explica la alta demanda por agua subterránea, disminución de los niveles de los pozos en períodos de bajas precipitaciones en la zona precordillerana, lo que se traduce en una mínima recarga del acuífero de Azapa (Torres y Acevedo, 2008)

Imagen 2. Riego por goteo

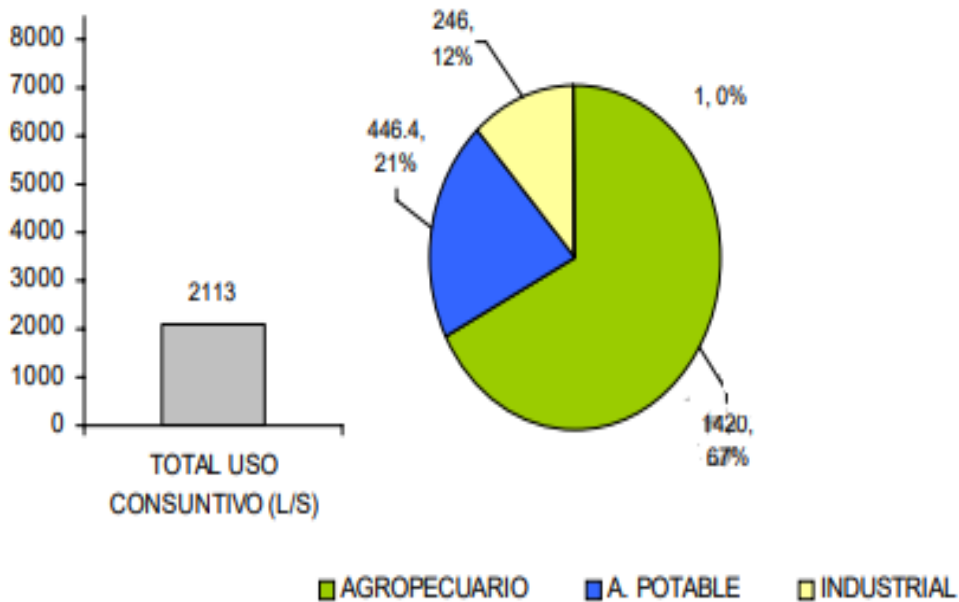


Fuente: Elaboración propia

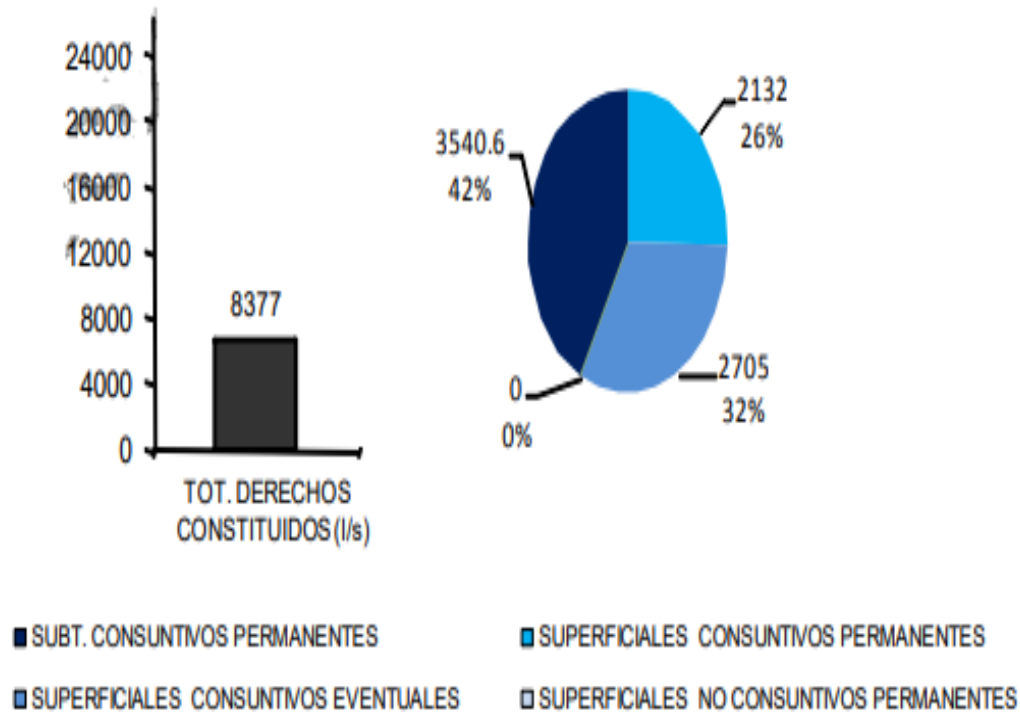
4.3.3. Derechos de aguas

En este resultado se adjuntan los gráficos que estipulan y regulan los derechos de agua entregados a la población del Valle de Azapa, durante los últimos 30 años. Los cuales conllevan a determinar un estado de prohibición del lugar, por lo que, se determina por medio de la ley que no se pueden entregar más derechos de aguas a esta zona.

Gráfico 2. Uso actual en la cuenca del río San José



Uso actual del agua en la cuenca del río San José



Fuente: DGA, 2010

En conjunto con lo anterior se añaden tablas que señalan los acuíferos protegidos de la región como también la superficie en la que están los acuíferos que se encuentran en zona de prohibición, se encuentra en este, se determinó que la descarga es mayor que la recarga, por lo que, no se pueden seguir otorgando derechos de agua a la población y solo se trabajan con los que ya están otorgados.

Gráfico 3. Número y superficie de zonas de prohibición

Macrozona	Región	Acuífero	SHAC	Superficie [km²]	[%]
Norte	XV	Azapa	Azapa	341	3,09
			Sector 1, Aguas Arriba Embalse Lautaro	6.654	60,20
	III	Copiapó	Sector 2, Embalse Lautaro-La Puerta	860	7,78
			Sector 3, La Puerta-Mal Paso	1.439	13,02
			Sector 4, Mal Paso-Copiapó	1.754	15,87
Centro	V	Estero El Membrillo	Estero El Membrillo	4	0,04
Total				11.052	

Fuente: Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DGA, 2015)

Gráfico 4. Número y superficie de acuíferos protegidos

Macrozona	Región	Nº de Acuíferos Protegidos	Superficie [km²]
Norte	XV	57	207
	I	37	304
	II	122	5.304
	Total	216	5.815

Fuente: División de estudios y panificación (DGA, 2015)

4.3.3.1. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN AMBIENTAL

En 1951 se publica el primer Código de Aguas presenta intervención estatal mediante la Dirección General de Aguas (DGA). Este marco la diferencia entre aguas públicas y aguas privadas (Orrego, 2002)

El código de agua de 1951 es distinto al actual debido a que el Gobierno tenía un poder regulatorio, los derechos de agua estaban condicionados debido al Banco Mundial (2011)

En 1967 se modificó el Código de Aguas, en apoyo a la ley 16.400, conocida como Reforma Agraria, esta buscaba redistribuir las aguas según tasas de uso racional y beneficios. (Orrego, 2002). Mediante esto, se demostró el aumento en gran manera del control del gobierno, el cual permitía expropiar a los particulares y quedarse con las aguas en territorio nacional. (Banco Mundial, 2011).

En 1981 se establece el actual Código de Aguas, establecido en el régimen militar, permitió privatizar la propiedad del agua, otorgando derechos de agua a privados, separo el dominio del agua de la tierra permitiendo su libre compra y venta.

Consagra una total y permanente libertad para el uso del agua a la que se tiene derecho, permitiendo a los privados (Dourojeannu y Jouravlev, 1999):

- Tener libertad sobre el uso de las aguas
- Transferir sus derechos en forma separada de la tierra
- Comerciar sus derechos a través del libre mercado

Este mercado de los derechos de aprovechamiento permitió que las aguas subterráneas se pudieran (Peralta, 2002):

- ➔ Comprar total o parcialmente los derechos desde un pozo para luego ser trasladado a otro en el mismo acuífero
- ➔ Arrendar temporalmente los volúmenes de agua desde un pozo cuyo volumen de extracción es inferior al volumen concedido

Recién en el año 2009 a través de la ley N° 20.411, se detuvo la entrega en el Valle de Azapa de derechos por parte del 4° transitorio, el hecho de desconocer a las personas que pertenecían al sector agrícola logro que se cambiara la aplicación de este procedimiento, así desde otros sectores económicos también accederían a este beneficio.

Así bien, tal como dice el estudio de la DGA (2010) los derechos de aprovechamiento de aguas de la Región de Arica y Parinacota, se establecen por medio de los datos recopilados de las inscripciones conservatorias del Registro de propiedad de Agua en el Conservador de Arica, así se determina la trazabilidad de las aguas, el balance hídrico y la identificación de la existencia de títulos imperfectos o susceptibles de regularización.

Se identificaron los tipos de solicitudes de derechos, según la respectiva nomenclatura:

ND: derechos de aprovechamiento (artículos 140 y siguientes del código de aguas y artículo 4° y 5° transitorio)

NR: regularización de derechos (artículo 2° transitorio del código de aguas)

NC: comunidades de aguas (artículo 187 y siguientes del código de aguas)

VPC: cambios de punto de captación (artículos 130 y siguientes del código de aguas y artículo 42 de la resolución DGA N° 425)

VT: traslado del ejercicio de los derechos de aprovechamiento (artículo 163 y siguientes del código de aguas)

Por medio del estudio que hizo la DGA (2016), es que se levantaron 5.623 registros o inscripciones de las cuales se pudo determinar que existen 888 derechos de aprovechamiento de aguas originarios (DAA). Los derechos originarios, fueron determinados por medio de documentación que establece la constitución: constituidos mediante resolución administrativa de la Dirección General de Aguas (DGA), constituidos mediante Sentencia Judicial y constituidos mediante Resolución del Servicio Agrícola Ganadero (SAG).

En la siguiente tabla se muestra la totalidad de los derechos originarios de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas, los cuales han sido constituidos en la región de Arica y Parinacota por Resoluciones de la Dirección General de Aguas.

Tabla 5. Derechos de aprovechamiento originarios

DERECHOS DE APROVECHAMIENTO	DE	CANTIDAD DE DERECHOS	DE	l/s	ACCIONES	MINUTOS
DERECHOS SUPERFICIALES		546		10.955	22.620	954
DERECHOS SUBTERRÁNEOS		342		3.435	6	0
TOTAL		888		14.391	22.626	954

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la DGA

Tabla 6. Derechos de aprovechamiento de aguas y su distribución en aguas superficiales y subterráneos.

DERECHOS DE APROVECHAMIENTO	NUEVOS DERECHOS (ND)			
	CANTIDAD	l/s	ACCIONES	MINUTOS
DERECHOS SUPERFICIALES	349	3.972,74	22.564,44	0
DERECHOS SUBTERRÁNEOS	253	2.181,1	0	0
TOTAL	602	6.153,84	22.564,44	0

DERECHOS DE APROVECHAMIENTO	Regulación de derechos (NR)			
	CANTIDAD	l/s	ACCIONES	MINUTOS
DERECHOS SUPERFICIALES	197	6.982,34	56,01	954
DERECHOS SUBTERRÁNEOS	89	1.254,33	6	0
TOTAL	286	8.236,67	62,01	954

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la DGA

Según los datos entregados por la Dirección General de Aguas (2016) respecto de los ND, el 63% fue debidamente inscrito, lo que significa que existen un 37% que se encuentra pendiente de terminar el proceso de tramitación. Existen expedientes de ND que están constituidos por la Resolución DGA y no inscritos en el Registro de Aguas del Conservador.

Desde el área de estudio (Río San José) se visualizan la totalidad de los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas consuntivos constituidos e inscritos en la cuenca del Río San José en virtud de las Resoluciones de la DGA desde los ND, mercedes de agua, constituidos por Resolución Judicial NR. El total de éstos, 52 corresponden a derechos superficiales y 218 a derechos subterráneos.

Tabla 7. Derechos de aprovechamiento de aguas y su distribución en aguas superficiales y subterránea de la cuenca del Río San José.

DERECHOS DE APROVECHAMIENTO CUENCA RÍO SAN JOSÉ	CANTIDAD	l/s	ACCIONES	MINUTOS
DERECHOS SUPERFICIALES	52	1.647,34	7	0
DERECHOS SUBTERRÁNEOS	218	2.190,3	6	0
TOTAL	270	3.837,64	13	0

Fuente: Elaboración propia con los datos entregados por la DGA

Tabla 8. Derechos de aprovechamiento de aguas y su distribución en ND y NR, aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del Río San José.

DERECHOS DE APROVECHAMIENTO CUENCA RÍO SAN JOSÉ	ND			
	CANTIDAD	l/s	ACCIONES	MINUTOS
DERECHOS SUPERFICIALES	21	784,20	0	0
DERECHOS SUBTERRÁNEOS	160	1.197,99	0	0
TOTAL	181	1.982,19	0	0

DERECHOS DE APROVECHAMIENTO CUENCA RÍO SAN JOSÉ	ND			
	CANTIDAD	l/s	ACCIONES	MINUTOS
DERECHOS SUPERFICIALES	30	873,3315	7	0
DERECHOS SUBTERRÁNEOS	70	1.204,848	6	0
TOTAL	100	2.078,18	13	0

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por la DGA

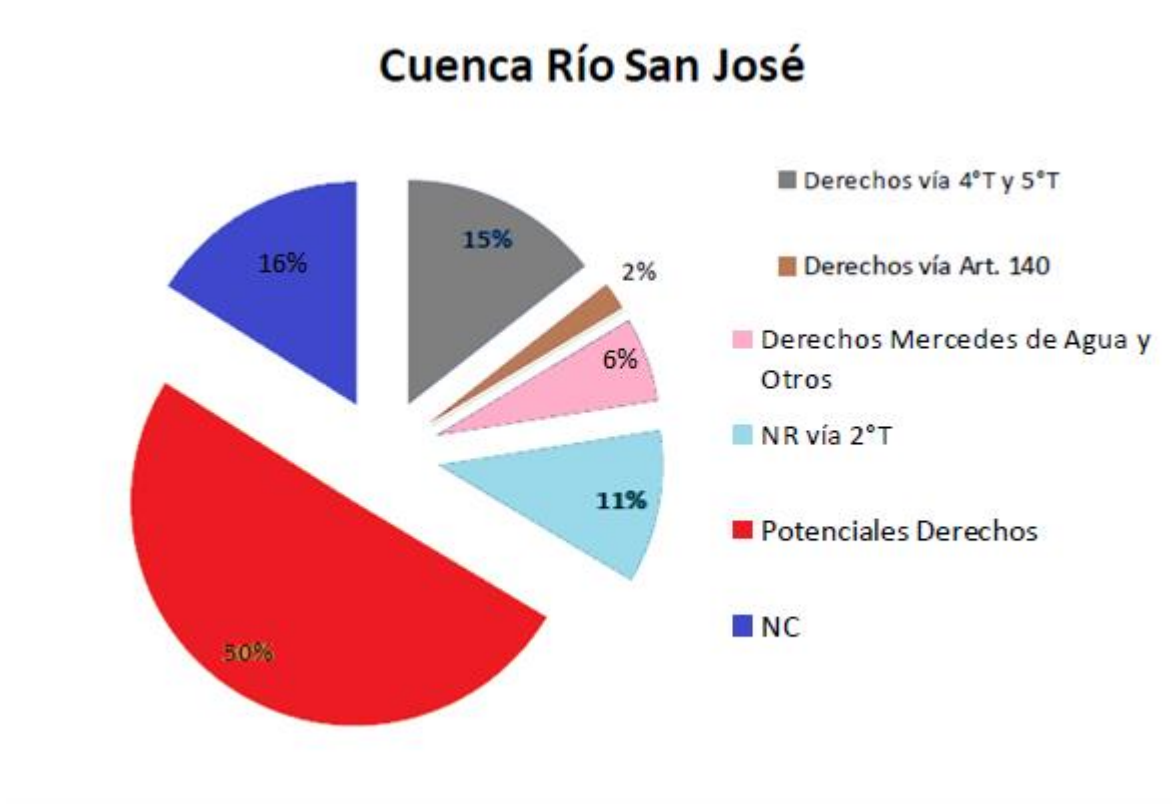
En la cuenca se presentan 129 comunidades de aguas, 123 en Azapa alto y 6 en san José, que se rigen por el artículo 187 y siguientes del código de agua, las que se describen en la tabla anterior y cuyos caudales en litros por segundo o acciones o minutos se visualizan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Tipos de derechos de agua

DERECHOS DE APROVECHAMIENTO CUENCA RÍO SAN JOSÉ	CANTIDAD	l/s	Acciones
DERECHOS VÍA 4°T Y 5°T	116	70,20	0
DERECHOS VÍA ART. 140	16	845,14	0
DERECHOS RESOLUCIÓN SAG	0	0	0
DERECHOS MERCEDES DE AGUA Y OTROS	49	786,03	0
NR VÍA 2°T	100	2.078,18	13
POTENCIALES DERECHOS	405	-	-
NC	129	170	504
TOTAL	804	3.726,82	517

Fuente: DGA, 2016

Gráfico 4. Caudales otorgados en la cuenca del Río San José



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la DGA

No es posible establecer relación entre las estaciones fluviométricas de la cuenca, lo que podría deberse a extracciones o aportes intermedios no controlados, no cuantificados y que afectan significativamente los caudales reportados.

Sobre la base de los casos analizados se concluyó que dada la sobreexplotación en la que se encuentra este sector del valle de Azapa, se pueden prever continuos descensos en los niveles del agua del subsuelo al incrementarse o mantenerse las explotaciones del recurso al año 1996, a no ser que algún evento hidrológico extremo tienda a revertir en parte dichas condiciones, lo que en todo caso sólo tendería a aminorar dichas tendencias. Por ello la DGA mantiene declarada un área de prohibición para nuevas explotaciones en todo el valle de Azapa desde 1996 hasta la fecha. Cabe mencionar que el flujo de recarga total que entra al sistema acuífero del valle de Azapa para los años de la calibración del modelo (1988-1995) es del orden de 400 l/s. CNR

Cabe destacar que el valle de Azapa en su totalidad está actualmente afecto a un área de prohibición, dictada por la DGA en el año 1996 según Resolución DGA. N°202 del 19/3/1996.

En dicha resolución se establece que el área de prohibición abarca todo lo ancho del valle, desde la localidad de Santuario Las Peñas, cerca de Umagata hasta su desembocadura, es decir, la ciudad de Arica, aun cuando la línea costera y el sector urbano al Norte del río San José no quedan dentro del área.

4.4. Trabajo de campo: Fichas de observación y recolección

Para todos los objetivos establecidos en la investigación se hace uso de las notas de campo, la cual se sintetizan como fichas de observación del área de estudio. De este modo y como dice Perez “son instrumentos de la investigación de campo. Se usan cuando el investigador debe registrar datos que aportan otras fuentes como son personas, grupos sociales o lugares donde se presenta la problemática” (Perez, Gloria. 2008)

Es por esto, que para cada uno de los tres objetivos adjuntos se utiliza ficha de observación, las cuales dan cuenta de cómo se encuentra en el presente la zona estudiada, es primordial constar con información elaborada en el trabajo de campo, ya que esta determina cada objetivo de la investigación, ayudan al reconocimiento y al análisis final.

Por este motivo, las fichas de observación fueron elaboradas en el mes de Marzo en tres lugares dentro del área de estudio, la primera fue en la desembocadura del río San José de Azapa, ya que este desemboca al mar y es de importancia para la investigación saber cómo se encontraba en Marzo del año 2018 el funcionamiento del río San José de Azapa. Dentro de la ficha de observación se encuentra el horario de inicio y termino en que fue elaborada, una breve descripción de observación directa, una observación interpretativa y el material fotográfico.

La segunda ficha fue elaborada en el Valle de Azapa, la cual abarca una descripción de una parte fundamental del área de estudio, la cual es la parcela donde fue la segunda entrevista. Esta da cuenta de los cambios que se han efectuado en el Valle de Azapa con respecto a la agricultura, ya

que hay una agricultura mucho más marcada en la zona, ocurriendo diversos cambios desde que comenzó a implantarse otras formas de plantación y mejorar la técnica.

La tercera ficha es dentro de un predio agrícola ubicado en el Valle de Azapa, el cual se abastece del acuífero San José de Azapa y se da cuenta dentro de él todo el material que se utiliza para bombear el agua de un sector bajo a otro más alto, así también se comprende material fotográfico que evidencia la maquinaria que han ido elaborando los propios agricultores para poder ejercer el trabajo de agricultura.

4.5. Imágenes satelitales

Se utilizaron tres imágenes satelitales que comprenden el mes de enero entre los años 1987, 1997 y 2016, por lo que, estas imágenes entregadas mediante el Landsat 5 y Landsat 8 arroja los cambios de la vegetación abordados entre los treinta años de diferencia de la primera con la última imagen, además entregan información mediante un NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada).

Mediante las imágenes satelitales es posible estructurar el comportamiento espectral de la vegetación, este determino que en el paso de los años ha aumentado la vegetación en la zona.

Imagen 3. NDVI año 1987

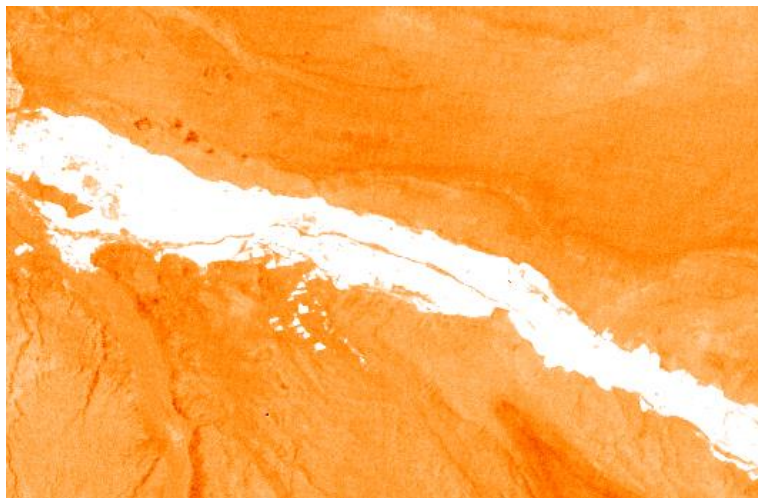


Imagen 4. NDVI año 1997

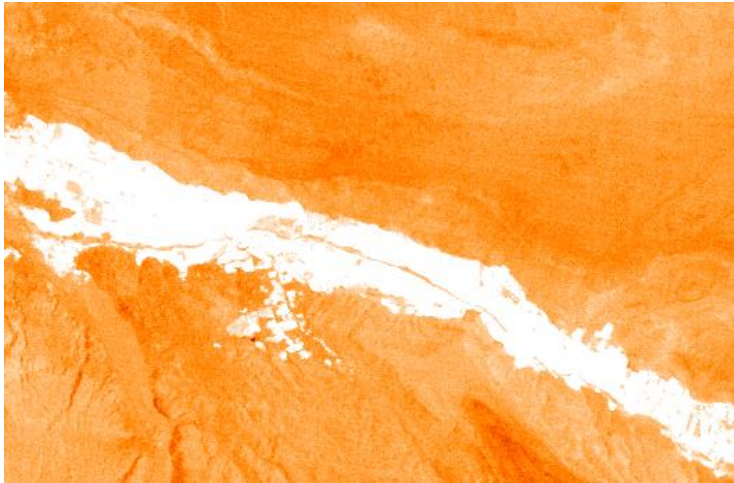
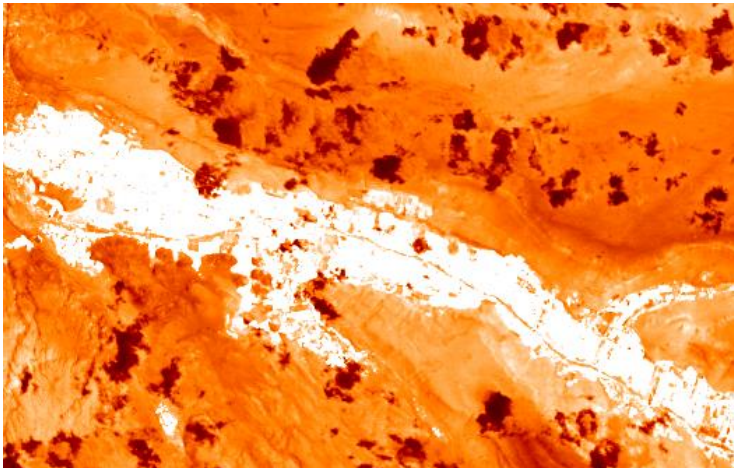


Imagen 5. NDVI año 2016



Fuente: Elaboración propia con información recopilada de Landsat 7 y 8

4.6. Fotografías y trabajo en campo

La zona de estudio se trabaja en relación a la alteración del terreno en un rango de los últimos treinta años, es por esto que se utiliza un complemento de las variables adjuntas más fotografías adquiridas desde el área de estudio, así se deja esclarecido el uso abundante de recurso hídrico del acuífero San José de Azapa y las diferencias que manifiesta la zona de estudio, dependiendo de que el mes determina la situación en la que la región se encuentre. También por medio del trabajo fotográfico, es que se puede hacer una comparación de la actividad agrícola entre los meses en que baja el invierno altiplánico y los que no.

Imagen 6. Plantaciones en cerros del Valle de Azapa



Fuente: Obtenida de documentos sin nombre

Imagen 7. Plantaciones en Noviembre / Marzo



Fuente: Elaboración propia

Imagen 8. Desembocadura del río San José de Azapa



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1. ESCENARIO DE ANÁLISIS

A partir de la información entregada en los resultados, es que se comprende que la sustentabilidad del acuífero San José de Azapa desde hace ya más de 30 años que peligra, por el hecho de ser uno de los acuíferos más utilizados como abastecedor hídrico tanto a la región de Arica como para la agricultura. Debido a los diversos estudios e investigaciones que se han hecho en el valle de Azapa es que se comprende la raíz del por qué el acuífero está peligrando su sustentabilidad socio-ambiental, siendo parte de esto factores no complejos de cambiar, pero si, necesitan de un respaldo por parte de las autoridades y así implementar planes o manejos para mitigar estas situaciones que afectan directamente al acuífero.

Si bien, el valle de Azapa en toda su extensión se ha visto mejorado con el tiempo, en relación al abastecimiento del recurso hídrico, si ha tenido dificultades para permanecer desarrollándose en la misma línea, la cual es el trabajo con la tierra directo. Esto sucede porque al estar ubicado en una de las zonas más áridas de Chile, se debe anteponer a situaciones tanto de cambio climático como también acciones humanas que afectan el funcionamiento de este.

Hace mucho tiempo atrás, no existía toda la cantidad de recurso hídrico que hoy existe en el área de estudio, por lo tanto, se tuvieron que hacer modificaciones en el terreno para que el abastecimiento que le llegara a la cuenca del río San José diera abasto y pudiera cumplir con las exigencias de la población. Es por esto, que al momento de investigar con respecto a lo que está sucediendo actualmente con el valle, es que existe un cuestionamiento general en relación al uso que se le da al recurso hídrico. Al trabajar en la agricultura, muchas personas se ven beneficiadas con los derechos de aguas, pero muchas otras necesitan abastecerse en grandes cantidades y no lo pueden hacer, producto que el valle ya está llegando a su límite de explotación y es en este punto donde radica el problema, ya que si la comunidad necesita agua las opciones a las que acude son a realizar pozos para así obtener agua sin la necesidad de comprar ni tampoco de pedir otros derechos.

5.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Según los resultados aquí establecidos, es que se da cuenta que el nivel freático del acuífero San José de Azapa ha bajado con el tiempo y esto se debe a que su recargar no está siendo suficiente como para abastecer a la población, ser utilizado para el regadío ni para recargar nuevamente su cuenca. Se observa que en el único mes que la entrada es superior a la salida es en el mes de febrero, por lo que se demuestra que, durante los otros once meses restantes, la descarga es mayor que la recarga, aunque se incluya los otros meses de mayor precipitación en las cuencas que dan abastecimiento a este, sigue siendo deficiente.

Desde los datos obtenidos en terreno y en documentos de la DGA, se analiza que el acuífero de San José de Azapa y el estado de la cuenca, coinciden en que la subcuenca está en déficit hídrico. Cada vez las demandas de agua son mayores, arrojando según los datos de la DGA (2016) en 8.782 l/s, esclareciendo que la agricultura consume un 87% y la demanda de agua potable un 10%. Por lo

tanto, las demandas de agua han aumentado en cada una de las cuencas pertenecientes al abastecimiento de agua de la región, sobre todo en la cuenca de Lluta y en la que está basada esta investigación la San José, esto se debe a su crecimiento agrícola y de población significativo.

Una vez en terreno queda expuesto los precios de los derechos de agua, demostrando la realidad del déficit hídrico, ya que estos son altísimos y los únicos beneficiados con este proceso están siendo los que tienen varios derechos de agua, generando dinero por medio de venderlos o de arrendarlos. Dentro de las comunas de mayores ingresos está Arica y es la que según el estudio de la DGA (2016) presentan mayores transacciones y valores que llegan hasta los 9 millones por acción (método para medir los derechos de agua). Desde el análisis arrojado en las entrevistas, esto se respalda, el geógrafo agricultor con el cual se habló comenta que las personas que tienen más agua, la arriendan o la subarriendan y como desde el estado no se están vendiendo más derechos de aguas sólo así se puede compartir.

Del mismo modo, según los datos analizados es que se destaca que en las zonas altas de la región es donde existe una pluviometría significativa, la cual es precipitada y abastecida durante el invierno altiplano, ya que este fenómeno lo bueno que trae, es que genera mayor ingreso de agua a la región y aporta el recurso para que se infiltre hasta el acuífero. Debido a que las precipitaciones en la zona norte de Chile, son bajas o muchos años nula, al ocurrir las precipitaciones en los meses de diciembre a marzo en el altiplano alivia a los agricultores.

Así mismo, centrando la atención en los caudales de la zona de estudio es que se es relevante nombrar que aunque se establezcan diversos estudios e información sobre estos, siguen siendo muy generales y en algunos casos podrían no arrojar los datos adecuados, debido a que se basan en la temporalidad del abastecimiento hídrico de la región, ya que los cauces generan datos por medio de las crecidas, las influencias del invierno altiplánico, los deshielos y eventos externos que ocurren algunas veces en el año.

5.2. CARACTERIZACIÓN DE LA DIMENSIÓN FÍSICO-NATURAL

5.2.1 Condiciones hidrológicas

Desde la información entregada de la DGA (2016) es que se presentan en la región una variación temporal mensual específica en los escurrimientos, ya que en los meses de enero, febrero y marzo se registraron los caudales más altos del año hidrológico, estos superan la media anual destacando que en los meses de junio y julio hay un pequeño incremento del caudal medio, en especial en la estación de control de la cuenca del río San José, debiéndose a un mayor aporte de las precipitaciones durante los meses de invierno. En la siguiente tabla, se adjuntan los datos en m³/s.

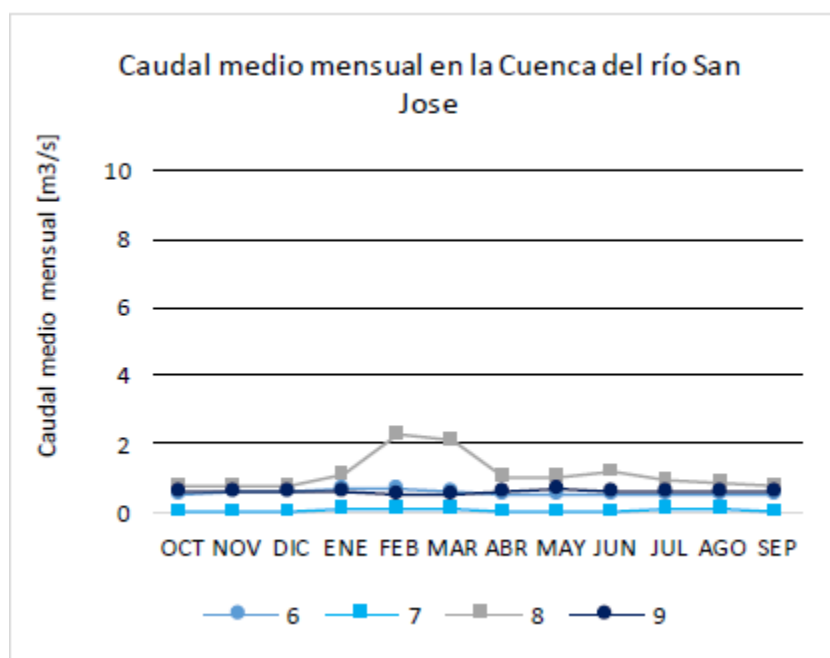
Tabla 10. Caudal medio mensual en la estación del río San José en Ausipar.

ESTACIÓN	CAUDAL MEDIO MENSUAL (m ³ /s)											
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Río San José en Ausipar	0,77	0,77	0,78	1,10	2,25	2,08	1,00	0,98	1,15	0,95	0,88	0,79
PROMEDIO	1,12 m³/s											

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la DGA

El siguiente gráfico, representa los valores en m³/s obtenidos de la estación fluviométrica del río San José, revelando que durante los meses de febrero a marzo se eleva el abastecimiento en el caudal, llegando un año a sobrepasar los niveles anteriores.

Gráfico 6. Caudal medio mensual reportado en la estación fluviométrica de la cuenca del río San José

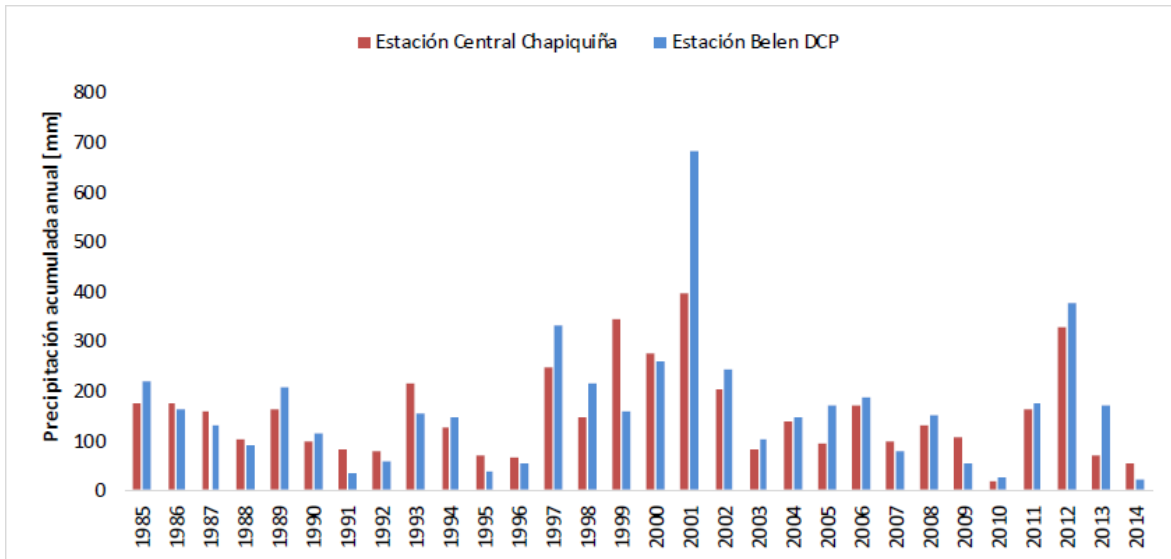


Fuente: DGA, 2016

Desde el estudio se comprende, el aporte que entregan las precipitaciones media anual y media mensual, así se utilizan los datos recopilados por la DGA (2016) durante los últimos 30 años de las estaciones pluviométricas existentes, las cuales permiten analizar las variaciones de precipitación. Los registros de las precipitaciones media anual se especifican en dos estaciones, ubicadas en la parte alta de la cuenca, Central Chapiquiña (3.350 msnm) y Belen DCP (3.240 msnm). Los años más húmedos de los periodos analizados son 1997, 1999, 2001 y 2012. El año más seco en los últimos 30 años, fue el 2010. Además, estos datos se respaldan con lo conversado en las entrevistas, ya que

destacan que los años más secos fueron alrededor del 2010, en los cuales se vieron muy complicados para manejar la agricultura en la zona.

Gráfico 7. Precipitación media anual registrada en estaciones de la cuenca del río San José



Fuente: DGA, 2016

Por lo tanto, se observa que la precipitación media anual en la cuenca del río San José aumenta gradualmente desde 0 mm/año en el sector bajo (ciudad de Azapa), a partir de los 1.500 msnm, se registran 10 mm/año y aumenta en relación a la altitud. En el sector alto (3.500 msnm) la precipitación media anual es cercana a los 170 mm/año.

Como la hidrología del río San José depende principalmente de las lluvias estivales altiplánicas, siendo ésta la principal causa en los aumentos de caudal durante los meses de verano. Entre los meses de diciembre y marzo, el caudal es suficiente y sobrepasa el Valle desembocando en el Océano pacífico. Es aquí donde ocurren los problemas dentro de la ciudad de Arica, ya que la ciudad al no estar preparada para que el caudal sobrepase los límites y desemboque en el mar, el caudal arrastra todo el sedimento que se encuentra en el lecho del río, los cuales muchas veces son basura y suciedad, estos los arroja en el mar ocurriendo una contaminación total del océano, cambiando su color y no pudiendo hacer posible el baño en el mar. Se adjunta una imagen de una parte del lecho del río, durante los meses en los que el caudal no ha subido.

Imagen 9. Lecho del río San José de Azapa mes de noviembre



Fuente: Elaboración propia

Desde los datos arrojados por la DGA (2016) a nivel mensual el escurrimiento durante los meses de enero, febrero y marzo, registran caudales medios altos, los más altos del año hidrológico donde se presentan caudales sobre el río San José en el mes de febrero del orden de los $2,25 \text{ m}^3/\text{s}$ en la estación Ausipar. Así mismo, la escorrentía superficial media anual registrada en la cuenca corresponde, en promedio a $1,12 \text{ m}^3/\text{s}$ en el sector medio del valle de Azapa a la altura de la localidad de Achuelo. Por otro lado, en uno de los afluentes de la parte alta, el río Laco (3.000 msnm) se registra un caudal medio anual de $0.58 \text{ m}^3/\text{s}$.

El río Tignamar ubicado sobre la precordillera, es uno de los principales aportantes al valle del río San José. En este desembocan excedentes de quebradas menores que son aprovechadas por regantes de las poblaciones de Belen, Pachama, Chapiquiña, entre otras. Sin embargo, se cuenta con muy poco registro sobre el cauce que permita cuantificar los recursos hídricos en la precordillera de la cuenca.

Según Jica- DGA (1995), el caudal medio en la estación río San José de Ausipar correspondería al total del recurso hídrico entrante al valle de Azapa, tanto superficial como subterráneo, ya que el

lecho de la estación estaría formada por rocas del basamento impermeable. Esto genera que el agua subterránea aguas arriba de la estación Ausipar aflore como agua superficial antes de llegar a esta, y parte de ella volvería a infiltrarse aguas abajo antes de llegar a la otra estación.

Dentro del mismo estudio de la DGA (2016), se estima que el 76% del agua superficial infiltra recargando al acuífero San José de Azapa, principalmente desde el lecho del cauce. La recarga anual se estimó del orden de los 465 l/s. Con relación a la recarga local en la ciudad de Arica, AC- DGA (1989) estableció que un 15% de la pérdida total o diferencia entre la producción real y el consumo facturado por ESSAT S.A, percola y contribuye como recarga al acuífero desde la superficie. En base a ello, Arrau-DGA (1997) estimó la recarga neta sobre el área urbana atribuible a las pérdidas de la red de agua potable para el periodo entre los años 1988 y 1995, en un valor de 32 l/s, cifra que al asignar como recarga real media representa aproximadamente 67 mm/año.

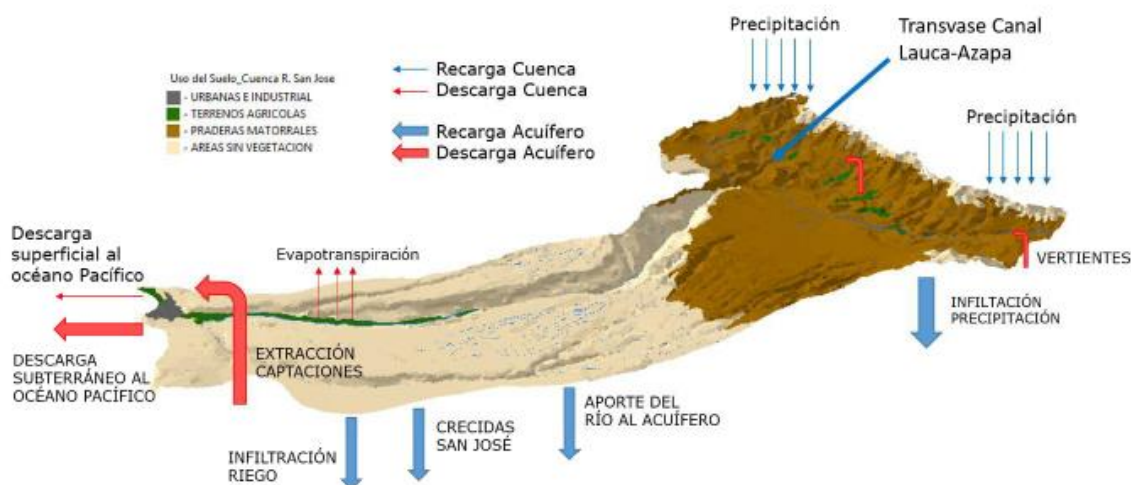
Por otro lado, AC Ingenieros Consultores Ltda. (2002), menciona que en el sector urbano de Arica se presenta una recarga local correspondiente a la red de agua potable, y que el valor depende de la producción y del consumo facturado. En este estudio DGA (2016) la recarga se estimó en 36 l/s.

Dentro del estudio SIT n°201 “Definición de estrategias de manejo sustentable para el acuífero de Azapa, XV región” de AC Ingenieros Consultores Ltda. (2009), se señala que el acuífero de San José de Azapa se ha mantenido, en promedio, en un pseudo equilibrio. Si bien, se han producido grandes descensos de los niveles freáticos en algunos sectores, como lo ocurrido el año 1996, éstos se han recuperado en los periodos de recarga por sobre el promedio. Sin embargo, la demanda histórica en la cuenca es satisfecha con la recarga una vez cada 5 años, por lo tanto, parte de los caudales de extracción provienen de volumen almacenado en el acuífero, generando descensos progresivos en los niveles freáticos del valle.

Las recargas que obtiene el río San José por medio de las aguas subterráneas, son las que van hacia el acuífero San José de Azapa. Por lo que, la precipitación en el altiplano, escurre superficialmente por las laderas, cauces y una parte es retenida en las depresiones. Esta agua que se infiltra, es la que genera la recarga para el acuífero. Abajo, la recarga se atribuye al riego de las áreas cultivadas en el valle y a los canales. También, se logra un abastecimiento por parte de las redes de alcantarillado y agua potable en la ciudad de Arica.

La siguiente figura, es la representar conceptualmente la cuenca del río San José y entender la forma de desenvolverse la naturaleza por medio de las precipitaciones, recargas/descargas, evaporación, infiltración y pérdidas. Aquí se representa, el aporte que es para el acuífero San José de Azapa y de donde provienen todas las aguas que lo recargan.

Figura 3. Modelo conceptual hidrológico de la cuenca del río San José.



Fuente: Modificado de la capa uso del suelo tomada del portal web del SINIA, DGA (2016)

Con respecto al uso que se le da al suelo por parte de los agricultores, se visualiza que el valle de Azapa es casi en su totalidad un suelo utilizado para la agricultura de riego intensiva, principalmente se dedican a la producción frutícola. Años atrás, la gran fuente de abastecimiento de los agricultores eran los olivos (*Olea europaea* L), por lo tanto, se era reconocido el valle de Azapa por ser una fuente característica de aceitunas para toda la región como también para la exportación de este. En el presente, se utiliza para otro tipo de plantaciones, ya que las costumbres se han ido cambiando y según los entrevistados, se deben plantar productos que utilicen menos agua debido a la escasez que se vive. Algunos de estos productos son tomates, lechugas y frutas en general. En el valle de Azapa la estructura de uso está dada por 46% de frutales, principalmente olivos y el 54% restante por chacras y hortalizas; en ambos rubros el uso es intensivo. Existe un doble cultivo de alfalfa que corresponde a 250 hectáreas, la cual equivale a 9,6% de la superficie regada.

Además del cambio en el tipo de plantación para producción, ocurre un cambio a lo largo de los años en las técnicas de riego, ya que para poder aprovechar el agua se tenía que buscar otras formas y mejor la técnica, por lo tanto, el riego por goteo se ha masificado entre los agricultores, según los datos del INE (2008) la superficie que hasta ese año estaba regada por goteo era de 2012,63 hectáreas, la cual se concentra principalmente en el valle de Azapa. Desde las entrevistas, se extrae información que señala los inconvenientes que han tenido los agricultores para seguir en ese rubro, ya que, se deben ir adaptando a las diversas formas de aprovechamiento del agua para que sus plantaciones no se vean afectadas. Así es que se representa en el trabajo en terreno, que la mayoría de los agricultores en los meses de escasez hídrica, dejan varios paños de terreno sin plantar para así darle énfasis a otro paño y pueda salir una producción favorable. En la siguiente imagen, se

muestra cómo trasladan el agua desde el acuífero hasta las zonas más altas, casi llegando a las laderas de los cerros y cuáles son los métodos que utilizan para conservar el agua.

Imagen 10. Bombas de agua



Fuente: Elaboración propia

Imagen 11. Esguerrimiento del agua superficial



Fuente: Elaboración propia

Capítulo VI. Conclusiones

Por medio de los resultados de la investigación, es que se establecen las bases para comprender la sustentabilidad socio-ambiental del acuífero San José de Azapa, ya que mediante la relación entre la influencia del uso humano con los fenómenos naturales se desestabiliza el aporte y el periodo de vida del acuífero, siendo este el principal recurso hídrico con el que cuenta la región.

A lo largo del tiempo, la población está comprendiendo el deterioro que se le está causando al acuífero, pero no del todo, producto de que no se ha tomado conciencia a un corto periodo de tiempo y si se siguen con las prácticas habituales el recurso hídrico se agotara totalmente. Esto causaría un perjuicio para la agricultura y la población total de la región de Arica y Parinacota.

Entre los factores predominantes que afectan al acuífero, está la falta de regulación por parte del estado, ya que si bien se han hecho estudios que han arrojado datos concretos, no se existe un plan de regulación constante, es por esto que cada vez que se realiza nuevamente un estudio el acuífero está en un mal estado y con deficiencia. La responsabilidad por parte de los organismos gubernamentales tiene que ser mayor, sobre todo hoy en día que el calentamiento de la tierra está causando una alteración mayor en las distintas zonas del planeta, si se sigue con las mismas prácticas de sobreexplotación por parte de las empresas, se agotara el recurso hídrico y no se podrá volver atrás.

Sería una buena herramienta de análisis, instalar nuevos pozos a la red de control de la DGA, los cuales puedan abordar información que aún está a la deriva, por lo tanto, se podría monitorear al acuífero cada mes y así se mejoran los datos, estableciendo información mucho más específica y actualizada. De este modo, se tendría gente trabajando constantemente en la zona de estudio y se verían mejoras en la sustentabilidad del acuífero.

Es de suma urgencia que la ley que respecta al agua, sea modificada y se regulen los derechos de agua, también en conjunto con una modificación a la ley se deben establecer planes de educación sobre el recurso hídrico, ya que una vez que se genera el conocimiento la población puede entender lo grave que es la situación. El plan de educación debería constar con reuniones constantes alrededor de todo el valle de Azapa, hasta las localidades que se encuentran más alejadas debido a que es de suma importancia que todos los que trabajan con el agua sean informados.

Muchos de los agricultores del valle de Azapa, son personas que no interactúan ni hacen su vida mayoritariamente en la ciudad, por lo tanto, se deben implementar medios para que ellos puedan asistir y así ser educados en cuanto a todos los requerimientos que se necesitan en el presente sobre la agricultura. Además de que deba ser obligatorio asistir tanto para la comunidad como para los empresarios y semilleras, que ven el valle de Azapa sólo como un bien de consumo que debe ser explotado.

Se debe considerar que desde los resultados se arroja información característica del área de estudio, sobre todo de la demanda de cultivos, ya que la disponibilidad anual de agua destinada para riego logra satisfacer el 88%, esto se agrava cuando existen importantes variaciones mensuales en el caudal, ya que en la época de crecidas producto de las precipitaciones en el altiplano se logra una

desestabilización total, tanto de la medición de caudales como del rendimiento que da la cuenca. Es por esto que se deben también, implementar estrategias que manejen la cuenca, programas que protejan la cuenca y proyectos que ayuden en la regulación de la cuenca.

Además de implementar planes y programas para informar a la gente, se debe trabajar con expertos que sepan sobre agricultura y sobre las diversas técnicas de riego, ya que existen sistemas de riego más eficaces como lo son el riego por caracol o goteo, el cual de cierta forma ayuda a utilizar el recurso hídrico de mejor manera, no ha ayudado en su totalidad en la mejora de la eficiencia hídrica y la sustentabilidad del acuífero. No se han logrado porque para cada uno de los lugares que aborda el área de estudio, tienen características distintas, ya sea por las condiciones del clima, agua y suelo pueden llegar a ser muy distintos, aunque se encuentren dentro de la misma región.

Por lo tanto, la necesidad de que los profesionales establezcan días y horas de reuniones, talleres e informativos, es una de las cuantas soluciones que se le puede dar a la sobreexplotación, luego de esto, los agricultores quedan capacitados en técnicas de manejo que les sirven para optimizar el uso de los recursos y mejoran la eficacia de la tierra.

En relación a la información obtenida por medio de la bibliografía consultada, se llega a la conclusión que la cuenca del río San José y los problemas hídricos a los que se tiene que enfrentar el acuífero San José de Azapa, son parte de un proceso que se ha desarrollado por años, el cual está respaldado por una desinformación general. Una vez que la naturaleza otorga un recurso, el ser humano lo utiliza sin saber cuáles serán las condiciones que traerá a futuro el uso desmedido, pero si antes de desgastar o secar el acuífero en este caso, se muestran los estudios a la población y se genera una retroalimentación por ambas partes (entidades gubernamentales, profesionales y agricultores), se pueden mitigar los efectos.

Deben existir cambios sustanciales en relación a la forma en la que se utiliza el agua, ya que al ser el acuífero San José de Azapa la principal fuente de abastecimiento de agua tanto para la población como para la agricultura, es que se está deteriorando cada año y no alcanza a recargarse de la manera óptica, por lo tanto, está sucediendo la contaminación recurrente. No existe una protección por parte de las autoridades ni una conciencia por parte de los agricultores (medianos y grandes) en comprender que el acuífero hay que cuidarlo y encontrar las formas de mitigar los efectos causados sobre él, es por esto, que por medio del estudio se trata de analizar cuanto es lo que ha sido afectado el acuífero para que esto sea utilizado como base en los futuros trabajos o en las futuras investigaciones que se harán en él.

6. Bibliografía

- Aceituno, P. (1998). Elementos del clima del Altiplano Sud Americano. Rev. Geofísica. pp 37-55.
- AC ING. y AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS (2002). Estudios básicos de los recursos hídricos valles Lluta, Azapa, Vitor y Camarones, primera región.
- AC ING. (2009). Definición de estrategias de manejo sustentable para el acuífero de Azapa, XV Región. Resumen ejecutivo. S.I.T. N°201.
- Arrau, L. (1997). Modelo de simulación hidrológico operacional cuenca del río San José.
- Arrau, L. (2003). Plan maestro de aguas lluvias de Arica. Manejo de los cauces de los ríos Lluta y San José y sus desembocaduras. Arica, 1ª Region.
- Aceituno P., Fuenzalida H. and Rutllant J. (1994) "Meteorological field experiment, Visviri I. in the South American Altiplano", pp. 267-270 in Proceedings of the 19th Annual Climate Diagnostic Workshop, College Park, Maryland.
- Aceituno P. and Montecinos A. (1993) "Circulation anomalies associated with wet and dry periods in the South American Altiplano", pp. 330-331 en Preprints: Fourth Int. Conf. on S.Hemisphere Meteorology and Oceanography. Hobart- Australia, Amer. Meteor.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1983). Establece normas de exploración y explotación de aguas subterráneas. Crea el Director Gral. De Aguas. En: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1038752>
- Bifani, Paolo. (1997), La relación hombre-naturaleza como fenómeno social, en Medio ambiente y desarrollo, 3ª edición. Universidad de Guadalajara, México. 31-33p.
- Buchi, Hernán (1993). La transformación económica de Chile. Del estatismo a la libertad económica, Grupo Editorial Norma, Santafé de Bogotá.
- Brown, Ernesto y Juan Eduardo Saldivia. (2000). Informe nacional sobre la gestión del agua en Chile, Comité Asesor Técnico de América del Sur (SAMTAC), Global Water Partnership (GWP).
- Blarasin, M., A. Cabrera, M. Villegas, C. Frigerio & S. Bettera. (1999). Groundwater contamination from septic tank system in two neighborhoods in Río Cuarto city, environmental management and water supply. Córdoba. Argentina. Vol 2: 31-38. Ed. Balkema.
- DGA (1989). Mapa Hidrogeológico. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología. Realizado por: Dirección General de Aguas.
- DGA (1997) Estadísticas de caudales, estaciones fluviométricas. Hoya Lluta, Caquena, San José, Laguna Chunqará-Lauca, Quebrada Vitor. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología. Realizado por: Dirección General de Aguas.
- DGA. (2010). Plan de acción estratégico para el desarrollo hídrico de la región de Arica y Parinacota. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, División de Estudios y Planificación.

DGA (2016). Estudio análisis integral de soluciones a la escasez hídrica, Región de Arica y Parinacota. Zona norte. S.I.T N° 410. Realizado por: ICASS LTDA.

Danielopol, D. L., P. Pospisil, J. Dreher, F. Mösslacher, P. Torreiter, M. Geiger-Keiser & A. Gunatilaka. (2000). A groundwater ecosystem in the Danube wetlands at Wien (Austria). En: H, Wilkens, D.C. Culver & W.F. Humphreys (Eds.) Subterranean ecosystems, Ecosystems of the world, 30, Elsevier, Amsterdam. pp 481–511.

Dietrich, P,H. (2009) Sistema de la naturaleza. Editorial: laetoli. España.

Dole-Olivier, M.J., F. Malard, D. Martin, T. Lefébure & J. Gibert. (2009). Relationships between environmental variables and groundwater biodiversity at the regional scale. *Freshwater Biology* 54: 797-813.

Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2011). Documento del banco mundial. Diagnóstico de la gestión de recursos hídricos.

Donoso, Guillermo (2003), Mercados de agua: estudio de caso del Código de Aguas de Chile de 1981, Comité Asesor Técnico de América del Sur (SAMTAC), Asociación Mundial del Agua (GWP), Santiago de Chile.

Danielopol D.L., C. Griebler, A. Gunatilaka, H.J. Hahn, J. Gibert, F. Mermillod-Blondin, G. Messana, J. Notenboom & B. Sket. (2008). Incorporation of groundwater ecology in environmental policy. En P. Quevauviller (Ed.) *Groundwater Science and Policy*. Chapter 11.2: 671-689, RSC (Royal Soc. of Chemistry), London.

Fenwick, G., H. Thorpe & P. White. (2004). Groundwater systems. En: *Freshwaters of New Zealand*. Capítulo 9. 29 pp. *Atmosphere* Vol. 16. N° 4.

Fuenzalida H. y Rutllant J. (1987) "Origen del vapor de agua que precipita en el altiplano de Chile", pp. 6.3.1 a 6.3.4 en *Anales del II Congreso Interamericano de Meteorología*, Buenos Aires, Argentina.

Foladori, G. (2007), "Paradojas de sustentabilidad: ecológica versus social". En *Trayectorias*, vol. IX, núm. 24, mayo-agosto, pp. 20-30. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Galassi, D. (2001). Groundwater copepods: diversity patterns over ecological and evolutionary scales. *Hydrobiologia* 453/454: 227–253.

Gallopín, Gilberto (2003). *Sostenibilidad y Desarrollo sostenible. Un enfoque sistémico*. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. N° 64. CEPAL, ONU Chile.

García, Aurora. (2000). *La cuestión ambiental en la geografía del siglo XX*. Anales de Geografía de la Universidad Complutense.

Gibert, J. & L. Deharveng. (2002). Subterranean ecosystems: A truncated functional biodiversity. *BioScience* 52: 473-481.

Gómez-Lobo, A. (sf), ¿Qué entendemos por desarrollo sustentable? En: <http://www.sustentable.cl/portada/Andres/358.asp> Banco Mundial. Desarrollo Sustentable en el siglo XXI.

Griebler, C., H. Stein, C. Kellermann, S. Berkhoff, H. Brielmann, S. Schmidt, D. Selesi, C. Steube, A. Fuchs & H.J. Hahn. (2010). Ecological assessment of groundwater ecosystems - Vision or illusion?. *Ecological Engineering* 36: 1174–1190.

Guimarães Roberto. (2002). Tierra de sombras. Desafíos de la sustentabilidad y del desarrollo territorial y local ante la globalización corporativa. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. N° 67, CEPAL. ONU.

Hastenrath, Stefan. (1991). *Climate Dynamics of the Tropics*. Department of Meteorology, University of Wisconsin, Madison, U.S.A. Edit: Springer Science+Business Media Dordrecht.

Humphreys, W. (2006). Aquifers: the ultimate groundwater dependent ecosystem. *Australian Journal of Botany* 54: 115–132.

Jaime hernandez palma, cristian estades marfan, Luis faundez yancas, Jorge herreros de lartundo. (2014). Biodiversidad terrestre de la región de Arica y Parinacota. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza Universidad de Chile.

JICA. (1995). Estudio sobre el desarrollo de los recursos de agua en la parte norte de Chile. Japan International Cooperating Agency.

Jouravlev, Andrei. (2001). Administración del agua en América Latina y el Caribe en el umbral del siglo XXI. CEPAL, Naciones Unidas.

Juan Antonio López-Geta, Juan María Fornés Azcoiti, Gerardo Ramos González, Fermín Villarroya Gil. (2009). *Las aguas subterráneas: un recurso natural del subsuelo*. Auts. 4ª ed.- Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

Lenters J.D. and Cook K.H. (1996) "On the origin of the Bolivian High and related circulation features of the South American climate", Manuscrito presentado a J. Atmos. Sc.

Liberio Mar A., Ever Menacho C. *Anales*. (2009). Estudio de la variabilidad intraestacional de la precipitación en el departamento de puno. *Científicos UNALM Vol 70 N° 2*. ISSN 0255-0407.

Manifiesto por la Vida. Por una Ética para la Sustentabilidad (2002). *Ambiente & Sociedade*, vol. V, núm. 10, pp. 1-14 Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade Campinas, Brasil. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31713416012>.

Meinzer, O.E y H.A. Hard, The artesian water supply of the Dakota Sandstone in N. Dakota, with special reference to the Edgeley Quadrangle, US Geological Survey Water-Supply Paper 520-E.

Ortlieb. (1995). Eventos el niño y episodios lluviosos en el desierto de Atacama: El registro de los últimos siglos.

Pavez, A. (2008). Los recursos Hídricos de Arica y Parinacota. En <http://pavezwellmann.blogspot.com/>.

Penk, M. & L. Knight. (2008). Groundwater crustacea of Ireland. A survey of the stygobitic Malacostraca in caves and springs. Report EcoServe. 65 pp

Pérez, Gloria. (2008). Investigación cualitativa. Retos e interrogantes. I. Métodos. Editorial La Muralla. Madrid.

Price, Michael. (2003). Agua Subterránea. Ed. Limusa

Pinto, Alberto. (2012). Revista Ingeniería Real. En: <https://ingenieriareal.com/clasificacion-rocas/>

Quiroga Martínez, Rayén M. A. (2001). La sustentabilidad socioambiental de la emergente economía chilena entre 1974 y 1999. Evidencias y desafíos. CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.

Santibáñez. (2016). ODEPA, Ministerio de Agricultura. El cambio climático y los recursos hídricos de Chile.

Strahler, A. N., Strahler, A. H. (1997). Escorrentía y recursos hídricos. En: Geografía física. (pp. 191-207). Ed. Omega.

Solanes, Miguel y David Getches. (1998). Practicas recomendables para la elaboracion de leyes y regulaciones relacionadas con el recurso hídrico, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), febrero de 1998, Washington D.C

Todd, D.K. (2005). Groundwater hydrology, 2a. ed., Nueva York, Wiley.

Thulin, B. & H. J. Hahn. (2008). Ecology and living conditions of groundwater fauna. Technical Report (TR-08- 06) of the Svensk Kärnbränslehantering (SKB), Stockholm.

Vuille M. (1996). Zur raumzeitlichen Dynamik von Schneefall und Ausaperung im Bereich des südlichen Altiplano, Südamerika, (tesis doctoral), Geographica Bernensia G.45, Instituto de Geografía, Universidad de Berna, Suiza.

Villanueva, Manuel e Iglesias, Alfredo. (1984). Pozos y acuíferos, técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto Geológico y Minero de España.

7. ANEXOS

7.1. ENTREVISTAS

En el trabajo de terreno, se realizaron dos entrevistas semiestructuradas, una realizada al profesor Alejandro Tapia de la universidad de Tarapacá, ubicada en Arica, el cual aporta con todos sus conocimientos en relación al Valle de Azapa, por lo que genera una retroalimentación de acuerdo a los cambios efectuados en él y cómo estos han afectado el Acuífero San José de Azapa.

ENTREVISTA 1. ALEJANDRO TAPIA, PROFESOR UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ.

Buenas tardes profesor, estoy realizando mi tesis en Arica, por lo tanto, estoy buscando toda la información que me pueda ayudar en la búsqueda de mis objetivos. Mi tesis trata sobre la sustentabilidad del acuífero San José de Azapa, por ende, toda la información que se tenga respecto del valle de Azapa, las quebradas, ríos, población, me sirven. ¿Me podría contar aspectos relevantes del valle de Azapa?

El valle de Azapa es bien especial, está fuertemente intervenido, el sistema natural hace mucho tiempo que no existe. Desde el año 62 que se está trasvasando agua desde la cuenca del río Lauca para acá y con un promedio aprox. de 600 litros/segundos, esta es agua altiplánica que se incorpora. Esto es lo que ha permitido el desarrollo agrícola del valle.

Antiguamente el valle prácticamente no tenía aguas superficiales, siempre lo ha tenido en el sector de la quebrada. Existe una distinción entre el valle de Azapa y la quebrada de Azapa.

¿La quebrada de Azapa está más arriba?

Claro. La frontera entre Chile y Bolivia que va en el sector altiplánico, ósea Chile posee un pequeño margen del altiplano, pero dentro del sector está el cordón occidental de los Andes (se abre en dos grandes cordones, el occidental y el oriental que está dentro de Bolivia y deja entremedio el altiplano sudamericano). El río San José, es un río pre andino porque no nace en la cordillera y tiene su principal nacimiento en el río Tignamar que es un río que tiene una dirección Sur- Norte. Y existen pequeñas quebradas que les llaman la pre-cordillera. Capta recurso hídrico de las lluvias que están principalmente centradas en el altiplano, no es de gran abundancia, sólo en la época de verano logra producirse algunas lluvias que captan este recurso y logran así tener aguas suficientes para que escurran superficialmente y logren llegar al mar. Esto es muy excepcional, ahora está ocurriendo casi todos los años, pero dura muy poco, este año fue en febrero, pero menos de una semana corrió agua porque además esto siempre ha sido así.

¿Hay años en los que no baja el río?

Hay años que no baja, pero estos últimos años, aunque sea poco ha bajado, pero son muy irregulares.

El río seco es otro río que viene del norte, pero es muy poco el aporte. La parte intermedia tiene una serranía que está antepuesta a la cordillera de los Andes y se llama sierra y, por lo tanto, ese río corta ese sector, muy encajonado, muy profundo. Donde está el Santuario de la Virgen de las Peñas, es una parte muy angosta, rocosa, en este sector hay pequeñas porciones de agricultura que ya

están prácticamente abandonadas, pero hay algunas comunidades que mantienen. Toda esa gente se vine al valle pero siguen teniendo algún tipo de actividad pero es muy poca.

Aquí estoy hablando del sistema natural, cuando todavía no se intervenía. Corría agua superficial pero a la salida de la quebrada, la parte angosta que después se abre y se habla del valle de Azapa, el agua se infiltraba y escurría de forma subterránea fundamentalmente en el valle, había gran cantidad de vertientes y desde la época de la colonia hasta los años 50 del siglo pasado la principal fuente de agua para el valle estaba a partir de las vertientes. Había dos grupos de vertientes, una en el sector del norte por San miguel de Azapa hay una quebrada que se llama la quebrada del diablo y más abajo otra quebrada por alto Ramírez. En este sector donde se produce la confluencia de esta quebrada seca (la del diablo) con el río, estos sedimentos han influido para que las aguas deban ascender, por lo tanto, en ese sector se encontraban una cantidad de vertientes (6). Y en el otro sector con el valle, estaba otro grupo de vertientes (4), de ahí se obtenía las aguas y se cultivaba el sector del valle de Azapa.

El cultivo no era un paño continuo, sino que donde estaba la vertiente que podría consumir el agua, se cultivaba y fundamentalmente estaba lo más tradicional los olivos.

En el sector de arriba, no existía los recursos de agua y habían algunas pampas importantes pero no habían sido cultivadas porque no existía agua. El año 40 más o menos el gobierno de Pedro Aguirre Cerda hicieron estudios para ver la posibilidad de captar agua desde el altiplano, siempre el altiplano fue pensado como una fuente de abastecimiento de agua.

Ahora existe la conciencia medioambiental y la necesidad de proteger a los pueblos originarios, pero en esa época no porque lo que importaba era abastecerse de agua.

Se hizo una obra en el altiplano donde está el lago chungara, al lado hay unas lagunas Cota Cotani que reciben aguas subterráneas porque el lago chungara no tiene emisario. De ahí nace el río Lauca que es un río altiplánico que da una curva y se mete a Bolivia donde hay unas lagunas. De las más recientes se construyó un canal que trae agua por un túnel, hay una caída de agua que por tubos se lleva a la parte baja en Chapiquiña y se construyó una central hidroeléctrica pequeña, se produce energía y el agua una vez utilizada para la energía (no es uso consultivo) se entrega a una quebrada que es afluente del Tignamar y esto después en forma superficial el agua, escurre por el río y es captado al inicio del valle por un canal que se denomina canal Azapa y esa agua se distribuyó para incorporar a la agricultura todas las pampas que estaban secas.

Originalmente en los años 70 se entregó a agricultores del sector del interior, de Tignamar, Belén, hasta de Camiña. El nombre de esos sectores se debe a que ahí vivió gente. Esta gente habito por trabajo físico, utilizaron sus propias técnicas para habilitar esos suelos para la agricultura. Se entregarán parcelas de 4 hectáreas a 4 familias, muchas personas de las que vivían ahí murieron, dividieron entre los descendientes y otros se subieron a los cerros a cultivar en la ladera, creando suelo donde no había suelo agrícola.

¿Esos suelos no son para cultivar?

No para nada, ellos han creado en la práctica le han metido maquina, tierra de abono y todo esta tecnificado por riego por goteo, ya no hay riego por inundación. Hay más ahorro de agua y eso ha permitido expandir la superficie, por eso que, un valle original del trasvase de agua no cubría más que unas 400 hectáreas y en este momento tiene alrededor de 3.000 hectáreas.

Ha tenido un efecto fundamental, el traslado de agua del altiplano por un lado y la explotación de los recursos subterráneos de la tierra que están súper explotados. Este es uno de los valles que se está acercando a como era Copiapó.

He leído que hay mucha sobreexplotación en el valle, ¿no hay control?

Si la sobreexplotación sigue y no hay control porque en realidad la ley de la división general de agua, no actúa y hay poca fiscalización, hay que pedir orden del juez y mucho enredo por eso se esta explotando en exceso.

¿Qué implicancias hay por el hecho de la sobreexplotación?

Esto implico que ha bajado el nivel de la capa freática y al bajar el nivel por ser explotado al máximo y por no ser regado por inundación, no se recuperan los acuíferos, bajo el nivel de las aguas y las vertientes se secaron todas. La gente que tenía derechos, perdió sus derechos y ya no tiene agua, por lo que, han tenido que abastecerse por medio de los pozos, profundizando los pozos y afectando a su vez el acuífero. Esto es un circulo.

Por lo tanto, está totalmente alterado el sistema natural. Del total de agua que trae el río que viene del altiplano, recursos propios del rio San José es bajísimo.

Cuándo hay años de sequía, ¿cómo lo hacen las personas que viven de la agricultura?

Empieza a flaquear, empiezan a explotar más el agua subterránea y la captación del agua allá arriba, del altiplano se capta no de las aguas superficiales que van escurriendo sino que de las lagunas Cota Cotani, las lagunas cumplen el papel de verdaderos embalses. Pero hay momento en que no dan abasto y empieza a bajar el nivel, las compuertas extraen poco recurso. En un momento determinado tuvieron que bajar las compuertas para seguir sacando más agua.

Esto a lo largo de los años ¿puede que se acabe?

Claro, ósea aquí la presión por parte de los agricultores siempre ha sido muy fuerte. En los años 80 existio una presión muy fuerte para traer agua del lago Chungara (parque nacional) se extrajo alrededor de 15 días, el estado construyo un canal, bombas y se mandaba agua desde el Chungara a las Cota Cotani y aumentar el nivel de agua para luego llevar al valle de Azapa pero en ese momento surgieron protestas por medio de organizaciones que presentaron reclamos ante la justicia y la corte suprema determino que no se podía extraer aguas de ahí porque es un parque nacional y es parte de la reserva de biosfera reconocida por la UNESCO. Pero querían extraer. En la época de la colonia se hicieron proposiciones de hacer estudios para ver la posibilidad de extraer agua desde el altiplánico para acá.

Antonio Vásquez de espinoza describió toda el área y cuando habla de Arica dice que paso por grandes llanadas que si existiera el agua sería una excelente área de agricultura, en esa época ya lo habían estudiado. Esto llevo a conflictos con Bolivia.

Se abren las compuertas desde el canal de Azapa el año 1962 14 de abril. Esto fue un cambio radical en el valle.

¿Por qué este valle y no el otro?

Porque a pesar de que es más pequeño, tiene buenas aguas, aguas dulces y las de allá son saladas, tiene suelos mejores y mejor condición de producción heterogénea. En ese momento estaba presente la junta del alto de Arica, era una región con puerto libre el año 52, esta era una institución descentralizada del estado (departamento de Arica) tenía la autonomía para manejar sus propios recursos, tenía gente preparada para los estudios.

¿El río San José es la fuente de recurso hídrico para la ciudad?

Claro, se obtiene de ahí el agua potable de pozos, es propiedad de Senco, bueno el agua del altiplano es sólo la concesionaria, pero además la ciudad ha crecido mucho y necesitaba más agua entonces se le compro a los agricultores agua. Antes había turnos de agua porque existían sectores que no les llegaba el agua todo el día. Esto cambio cuando se hizo una obra de construcción de extracción de agua desde el valle de yuta, se adicione un porcentaje de agua para el barrio norte desde pozos profundos en el valle de yuta, se supone que es agua de otras características como en la década de los 80, por eso ahora la gente tiene agua todo el día, pero antiguamente no era así.

¿En la ciudad hay varios pozos de donde se abastece a la población?

Sí, hay varios, pero principalmente la ciudad se abastece desde el agua que envían a los tanques.

¿El agua está muy contaminada?

No es de muy buena calidad, a pesar de que dicen que está dentro de las normas, pero la gente de Arica toma agua envasada, ya que tiene mucha sal. En la entrada de yuta, hay una planta de tratamiento de agua potable, capta el agua de yuta, la tratan, inyectan en el sistema de distribución de agua potable y hay un porcentaje de agua de descarte que se lleva la sal y se vota en el puente yuta. Es harta salinidad, pero no ha afectado de gran cantidad.

¿Qué ha cambiado en el valle en los últimos años?

Este año ha habido un cambio en el valle porque han entrado muchas semilleras que cultivan productos transgénicos con fines de exportación, arriendan propiedades agrícolas, en el sector bajo por una cantidad de años. Cultivan maíz fundamentalmente. Necesitan espacio y han cortado los olivos, por lo tanto, ha habido cambios significativos.

¿Esas semilleras ocupan la misma cantidad de agua para la agricultura?

Ahí se ocupan los derechos de agua, arriendan o compran derechos de agua, las aguas se venden en forma separada de la tierra, hay gente que vende por separado el agua entonces se queda con tierra, pero sin agua.

Muchos se suben y ocupan las tierras porque son estatales, muchos se suben y tienen 3 hectáreas, pero ocupan 4 pero nadie se las va a medir.

Tomates principalmente agropecuarios abastece toda la zona central, sector bajo olivos y sector más alto hortalizas. Aquí se cultiva todo el año. Las cosas más importantes es la tierra y el agua en este sector

Con respecto a la otra entrevista, fue realizada a un geógrafo Andrés Jiménez, el cual tiene hectáreas heredadas por su abuela, estas han sido traspasadas a su madre y familiares por lo que se dedican a ejercer la agricultura en el Valle de Azapa. De este modo, esta entrevista aporta en el conocimiento de los diversos tipos de regadíos que utilizan actualmente y cuales utilizaban antiguamente, además genera información con respecto a datos concretos de la utilización del recurso hídrico que aporta el acuífero San José de Azapa y cómo ellos lo distribuyen dentro de todas sus hectáreas.

ENTREVISTA 2. ANDRÉS JIMÉNEZ. GEÓGRAFO.

¿Cuántos son los derechos de agua que le pertenecen?

Estos se venden por acciones, cada una sale de 25 a 27 millones. Nosotros tenemos 7 acciones, 7 horas de agua que recibimos todos los días sábados, las 7 horas de agua las dejamos en el estanque de abajo. En la parte de arriba tenemos 4 estanques es donde vamos subiendo el agua. Cuando hay harta agua son 14 vueltas en la compuerta, eso es lo máximo que dan. Cuando hay menos agua, dan menos vueltas. En el mes de octubre nos dan 9 vueltas, para que alcance para todo el valle.

¿Cuántos litros de agua les pertenecen?

No tienen contabilizado cuantos litros por segundo entra en las 14 vueltas, no tenemos medidor. Cuando yo tiro para arriba, tengo un medidor de litros por segundo, por ser en el estanque de abajo son 13,5 litros por segundo por 7 horas. En el de más arriba da 11,5 litros por segundo y el de al medio 12,5 litros por segundos. Esto lo evaluó por el medidor que compre. Puede pasar cualquier cosa y yo tengo que bajar para ver si está tirando agua, con el medidor que tiene una luz, esa luz pestañea y aparece los litros por segundo.

¿A ustedes con cada uno de estos litros por segundo, logran abastecer sus riegos?

En la época de escasez de agua entre agosto, septiembre, octubre, nos falta porque ahí tenemos que dejar paños de terreno helados, no sembrar todo. En diciembre y enero, se vuelve a plantar nuevamente.

¿Ustedes tienen organización como agricultores?

Hay una comunidad con el presidente, pero no es como una organización, es más bien una comunidad. Hacemos actividades, pero más bien pocas, son gente de interior que han llegado, antes se hacían más actividades, pero ahora ya no tanto. La mayoría de la gente se ha salido hacia los cerros, antes sólo era por la orilla del río. Ahora hay otras tecnologías que se usan, la técnica del riego a goteo, antes se regaba en caracoles o en calles.

El riego por goteo ¿en qué año se empezó a realizar?

El riego por goteo esta hace más de 10 años atrás. Nosotros antes no trabajábamos en la agricultura, mi señora heredo el terreno del papá y ahora lo trabajamos. Empezamos hace 15 años a trabajar la tierra.

¿Antes cómo lo hacían para regar la parte de arriba de los cultivos?

Mira la verdad que cuando se empezó eso, yo empecé a plantar árboles frutales y ahí yo subía el agua por tambores en la camioneta y llenaba el agua en un estanque más grande allá. Fue cuando se empezó a plantar zapallo, lechuga y esas cosas, colocamos bombas porque era mucho y no daban abasto los tambores.