



AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
CONSEJO DE RECURSOS HÍDRICOS DE CUENCA CAPLINA - LOCUMBA

PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN DEL ACUIFERO CAPLINA



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



BICENTENARIO
DEL PERÚ
2021 - 2024

 **ANA**
Autoridad Nacional del Agua

ÍNDICE

1. PRESENTACIÓN	4
2. IMAGEN ACTUAL DEL ACUÍFERO	4
2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA	4
2.2 GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA	10
2.2.1 Geomorfología del área	10
2.2.1. Geomorfología regional relieve litológico.....	12
2.2.3. Geología.....	15
2.2.4 Geología subterránea del acuífero Caplina.....	24
2.2.5. Análisis geológico estructural	28
2.3 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	32
2.3.1 Hidráulica subterránea	34
2.3.2 Zonificación hidráulica	36
2.3.3 Radio de influencia	37
2.3.4 Geoquímica, hidroquímica e isotopía	38
2.3.5 Calidad de agua	44
2.4 CARACTERIZACIÓN DE LA RECARGA	50
2.5 BALANCE DEL ACUÍFERO.....	59
3. DIAGNÓSTICO.....	61
3.1 DIAGNÓSTICO FÍSICO AMBIENTAL.....	61
3.2 SOCIO ECONÓMICO.....	66
3.3 POLÍTICO INSTITUCIONAL.....	70
4. IMAGEN DEL ACUIFERO DESEADO	76
4.1 ANÁLISIS DE TENDENCIAS	76
4.2 TENDENCIAS INSTITUCIONALES	78
4.3 ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPORTUNIDADES	79
4.4 FORMULACIÓN DE ESCENARIOS.....	80
4.5 CONSTRUCCIÓN DE LOS ESCENARIOS	84
5. LINEAMIENTOS.....	86
6. OBJETIVO ESTRATÉGICO, OBJETIVOS ESPECÍFICOS, ACCIONES ESTRATÉGICAS, PROGRAMAS Y PROYECTOS	87
6.1 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS Y RESULTADOS	87
6.2 CRONOGRAMA DE PROGRAMAS Y PROYECTOS	91
6.3 PRIORIZACIÓN DE OBJETIVOS, PROGRAMAS Y PROYECTOS	94
6.4 PROGRAMAS Y PROYECTOS PRIORIZADOS	96
7 CRONOGRAMA DE INVERSIONES	97
8 ESTRATEGIA DE FINANCIAMIENTO	99
9 COMPATIBILIDAD CON LA PLANIFICACIÓN REGIONAL Y EL PLAN DE GESTIÓN DE LA CUENCA	101
10 SISTEMA DE MONITOREO	102

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICOS

FIGURAS:

Figura N. 1 Ubicación política del acuífero y área de influencia	4
Figura N. 2 Ubicación hidrográfica.....	5
Figura N. 3 Ubicación política del área de planeamiento.....	6
Figura N. 4 Gradiente altitudinal.....	7
Figura N. 5 Ubicación hidrográfica.....	7
Figura N. 6 Evaporación media anual.....	8
Figura N. 7 Horas de sol.....	8
Figura N. 8 Evapotranspiración.....	9
Figura N. 9 Precipitación.....	9
Figura N. 10 Geomorfología.....	10
Figura N. 11 Geomorfología Regional.....	13
Figura N. 12 Unidades estratigráficas.....	15
Figura N. 13 Unidades litoestratigráficas.....	16
Figura N. 14 Ubicación y Longitud de las secciones	24
Figura N. 15 Conductividad hidráulica.....	36
Figura N. 16 Transmisividad (T).....	37
Figura N. 17 Coeficiente de almacenamiento (S).....	37
Figura N. 18 La ecuación de la recta meteórica global y los valores de exceso de deuterio.....	42
Figura N. 19 Exceso de hidrógeno para las muestras de la zona IV.....	42
Figura N. 20 La Línea Meteórica Global (GWML) y local (LMWL) para los análisis de isótopos obtenidos en la Cuenca Caplina en época de avenida.....	43
Figura N. 21 La Línea Meteórica Global (GWML) y local (LMWL) para los análisis de isótopos obtenidos en la Cuenca Sama en época de avenida.....	43
Figura N. 22 Mapa de comparación de isolíneas de las concentraciones de Na+ y Cl- para 2020: (a) Na+, (b) Cl- y para 2022: (c) Na+, (d) Cl-, en la zona litoral del sistema acuífero Caplina.....	47
Figura N. 23 Mapa de isolíneas de las concentraciones de Na+ y Cl- para 2022: (a) Na+, (b) Cl- en la zona litoral de las cuencas Sama, Caplina y Hospicio e intercuenas aledañas	47
Figura N. 24 Sección transversal al cuerpo acuífero en el litoral	48
Figura N. 25 Estimación de la salida de agua subterránea dulce hacia el sistema agua subterránea salada, Aproximación piezométrica Ley de Darcy	48
Figura N. 26 Estimación de la entrada de agua salada, Método Darcy.....	49
Figura N. 27 Sección piezométrica al litoral I – I mostrando posición de la interfase calculada	49
Figura N. 28 Cuencas e Intercuenas en el ámbito.....	50
Figura N. 29 Potenciales Zonas de Recarga por Lluvia del Acuífero Caplina	51
Figura N. 30 Delimitación del área superficial del acuífero y la zonificación	51
Figura N. 31 Delimitación de las laderas adyacentes al acuífero y la zonificación.....	52
Figura N. 32 Delimitación del área superficial de la zona de recarga de los cursos de agua que ingresan al acuífero.....	54
Figura N. 33 Ubicación de las secciones de aporte consideradas para la recarga R3	55
Figura N. 34 Puntos de entrada de cursos de agua al acuífero.....	56
Figura N. 35 Esquema del modelo conceptual de los componentes del sistema acuífero Caplina	60
Figura N. 36 Incremento de las extracciones en el acuífero Caplina – La Yarada	61
Figura N. 37 Variación de la Nivel Estático en el Sistema Acuífero Caplina	62
Figura N. 38 Variaciones del nivel estático entre los años 2010 al 2022 en la zona II	62
Figura N. 39 Variaciones del nivel estático entre los años 2010 al 2022 en la zona III	63
Figura N. 40 Variaciones del nivel estático entre los años 2002 al 2022 en la zona IV	64
Figura N. 41 Sección piezométrica al litoral I – I mostrando posición de la interface calculada	65
Figura N. 42 Evolución del área bajo riego (ANA, 2019).....	66
Figura N. 43 Mapa multi temporal de la extensión de la superficie agrícola en el distrito. Fuente: Alvarado et al. (2020).....	66
Figura N. 44 Área agrícola en porcentaje.....	67
Figura N. 45 Área ocupada en el distrito La Yarada – Los Palos. Fuente: Alvarado et al. (2020).....	67
Figura N. 46 Plan de Uso del Suelo, distrito La Yarada – Los Palos.....	68
Figura N. 47 Área agrícola con y sin licencia de uso de agua. Año 2019	68

Figura N. 48 Número de pozos por tipo.	69
Figura N. 49 Número de pozos por estado de uso.	69
Figura N. 50 Número de pozos utilizados por tipo de aprovechamiento.	69
Figura N. 51 Dos bandos se enfrentan por el uso de un pozo. La Yarada 7/10/2022	70
Figura N. 52 Perú: percepción de la corrupción año 2020. (Defensoría del pueblo, 2022)	72
Figura N. 53 Relación de los factores de insostenibilidad del desarrollo del territorio.	74
Figura N. 54 Árbol de problemas.....	74
Figura N. 55 Tacna, tendencia de crecimiento poblacional.	76
Figura N. 56 Tacna. Población por provincias.	77
Figura N. 57 Valoración de escenarios.....	85
Figura N. 58 Priorización de objetivos del sistema.	95
Figura N. 59 Distribución de costos de los objetivos.	99
Figura N. 60 Pasos del proceso de monitoreo	102

TABLAS:

Tabla N. 1 Ubicación y Longitud de las secciones.....	24
Tabla N. 2 Parámetros hidráulicos	35
Tabla N. 3 Composición isotópica de muestras de agua en la cuenca Caplina	41
Tabla N. 4 Recarga por precipitación sobre el área del acuífero.....	52
Tabla N. 5 Recarga por precipitación sobre laderas adyacentes, Año medio	53
Tabla N. 6 Volúmenes de Recarga (hm ³) por Infiltración total por lluvia directa sobre el suelo de las cuencas de contribución hasta los puntos donde los cursos involucrados ingresan al acuífero para un Año Medio	54
Tabla N. 7 Volúmenes de Recarga (MMC) por Aporte de Flujo Subterráneo que Ingresan a Través del Material Aluvial de los cursos que ingresan al Acuífero	56
Tabla N. 8 Recarga que ingresa a cada curso.....	57
Tabla N. 9 Volúmenes de Recarga (MMC) por Infiltración en los Cauces que Fluyen sobre el Acuífero Caplina (R4)...	57
Tabla N. 10 Volúmenes de Recarga (MMC) por aporte subterráneo de Cuencas Vecinas (R5)	57
Tabla N. 11 Volúmenes de Recarga (MMC) por Infiltración por Riego Agrícola (R6)	58
Tabla N. 12 Volúmenes de Recarga Total Estimada (MMC) para el Acuífero La Yarada	58
Tabla N. 13 Volúmenes de Recarga Total Estimada (MMC) para el Acuífero La Yarada	58
Tabla N. 14 Variación de las reservas de agua subterránea considerando el ingreso de agua de mar	60
Tabla N. 15 Balance mensual de las aguas subterráneas	64
Tabla N. 16 Impactos de las tendencias sobre la variable Seguridad Hídrica para la Población y la agricultura	80
Tabla N. 17 Impactos de las tendencias sobre la variable sostenibilidad Económica	81
Tabla N. 18 Impactos de las tendencias sobre la variable Ordenamiento Territorial y de los Recursos Hídricos	81
Tabla N. 19 Impactos de las tendencias sobre la variable Gobernabilidad.....	82
Tabla N. 20 Impactos de los riesgos sobre la variable Seguridad Hídrica para la Población y la Agricultura	82
Tabla N. 21 Impacto de los riesgos sobre la variable Sostenibilidad Económica	83
Tabla N. 22 Impacto de los riesgos sobre la variable Ordenamiento Territorial y de los Recursos Hídricos	83
Tabla N. 23 Impactos de los riesgos sobre la Gobernabilidad	83
Tabla N. 24 Matriz de evaluación de escenarios	84
Tabla N. 25 Visión de las variables estratégicas.....	85
Tabla N. 26 Cronograma de Proyectos y actividades del Objetivo N° 1	91
Tabla N. 27 Cronograma de Proyectos y actividades del Objetivo N° 2	91
Tabla N. 28 Cronograma de Proyectos y actividades del Objetivo N° 3	92
Tabla N. 29 Cronograma de Proyectos y actividades del Objetivo N° 3	93
Tabla N. 30 Priorización de Objetivos.....	94
Tabla N. 31 Inversiones y costos de operación y mantenimiento.....	99
Tabla N. 32 Estructura tarifaria para la provincia de Tacna.	100
Tabla N. 33 Propuesta de financiamiento y tarifas de agua.	101
Tabla N. 34 Compatibilidad con el PDRC de Tacna	101

PLAN DE GESTIÓN DEL ACUÍFERO CAPLINA

1. PRESENTACIÓN

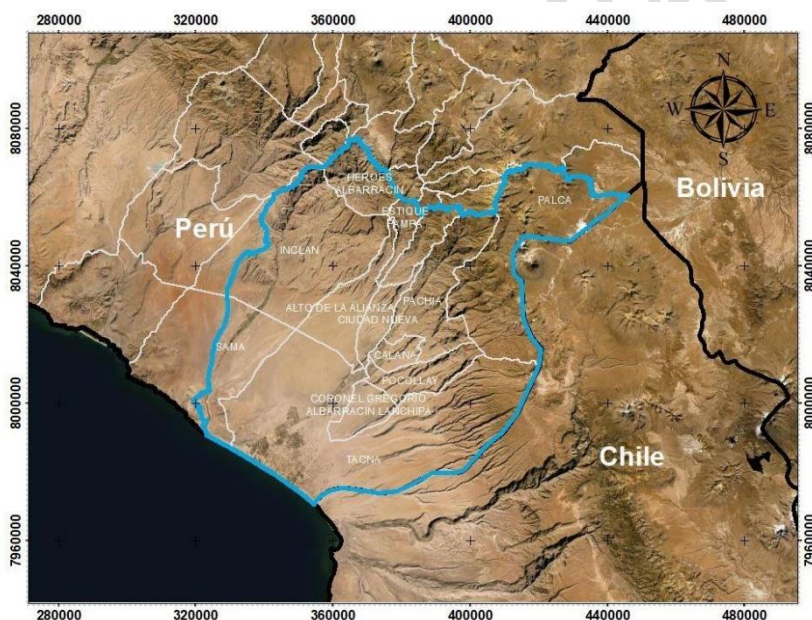
2. IMAGEN ACTUAL DEL ACUÍFERO

2.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Características generales del área total de influencia del acuífero

La ubicación política del área total de influencia, corresponde a la parte sur, este y oeste de la provincia de Tacna, región Tacna, Territorialmente, el área abarca parte de los distritos de La Yarada – Los Palos, Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, Pocollay, Calana, Tacna, Sama, Ciudad Nueva, Alto de la Alianza, Pachía, Inclán y Palca, En la Figura 1 se presenta la ubicación política del área.

Figura N. 1 Ubicación política del acuífero y área de influencia



Ubicación geográfica

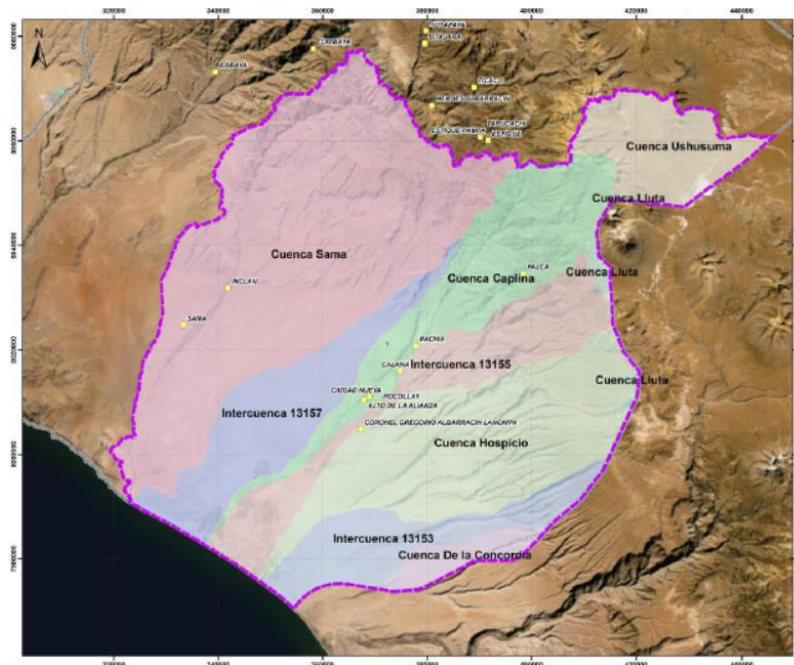
La ubicación geográfica del área de planificación se encuentra entre los paralelos 17,46° a 18,35° de latitud sur y entre 70,81° a 69,77° de longitud oeste, abarcando los cuadrángulos Tarata (35-V), Río Mauri (35-X), Antajave (35-Y), Locumba (36-U), Pachía (36-V), Palca (36-X), La Yarada (37-U), Tacna (37-V), Huaylillas (37-X), El área se halla en las planicies costaneras y zonas montañosas entre el límite de la Cordillera de la costa y la ladera oeste de la cordillera occidental de los Andes Centrales.

Ubicación Hidrográfica

La ubicación hidrográfica se encuentra definida por los límites de la cuenca hidrográfica Sama (parte media y baja de la cuenca), cuenca hidrográfica Uchusuma (sector peruano), cuenca hidrográfica Caplina, cuenca hidrográfica Concordia (sector peruano), cuenca hidrográfica

Hospicio, cuenca hidrográfica Lluta (sector peruano) y la Intercuenca Caplina – Hospicio, Intercuenca Hospicio –Concordia, Intercuenca Sama –Caplina; cuya delimitación de dichas unidades hidrográficas se encuentran aprobadas mediante la R.M. N° 033-2009-AG, tal como se observa en la Figura 2.

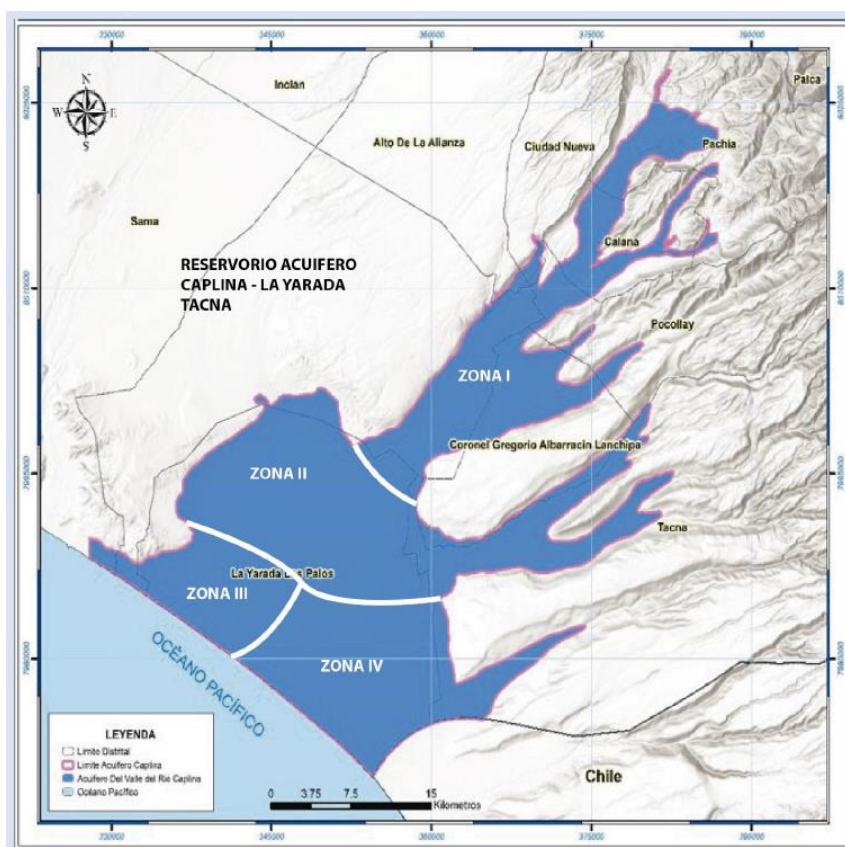
Figura N. 2 Ubicación hidrográfica.



Extensión y delimitación del área de planeamiento

El área de planeamiento es de 996 km² (99 600 has), la cual se ha sectorizado en cuatro zonas como se observa en la Figura N° 3. Comprende los distritos de La Yarada – Los Palos, Gregorio Albarracín, Tacna, Pocollay, Calana, Pachía y Ciudad Nueva.

Figura N. 3 Ubicación política del área de planeamiento.



Climatología

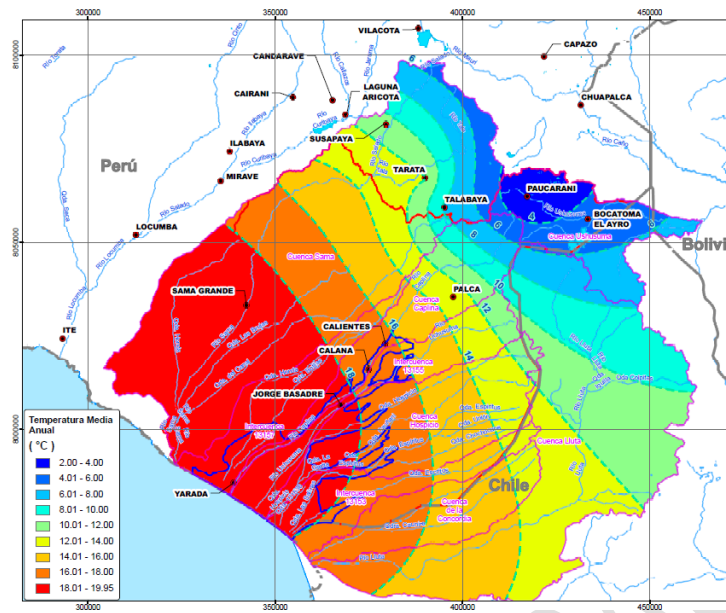
Como en la mayor parte de las cuencas de la costa sur del Perú, la cordillera de los Andes actúa como una barrera que dificulta y/o impide el paso de los vientos húmedos provenientes del Brasil. Esto limita enormemente la magnitud de las precipitaciones en el flanco occidental de la cordillera que van disminuyendo con la proximidad al Océano Pacífico, La escasez de lluvia en la zona costera se ve magnificada por el fenómeno de inversión térmica que se origina por la frialdad de las aguas del océano Pacífico.

Se cuenta con información de 24 estaciones climatológicas ubicadas en la cercanía del ámbito del estudio, con fines descriptivos, las estaciones climatológicas han sido agrupadas en función de su altitud como pertenecientes a la zona baja (0 a 1500 msnm), media (1500 a 4000 msnm) o alta (mayor a 4000 msnm). Se tiene que 10 estaciones se encuentran en la zona baja, 8 estaciones en la zona media y 6 en la zona alta.

Temperatura

Se observa la existencia de un gradiente altitudinal negativo, presentándose una disminución media de la temperatura de 0,37°C por cada 100 m de incremento de altitud, Figura N° 3

Figura N. 4 Gradiente altitudinal.

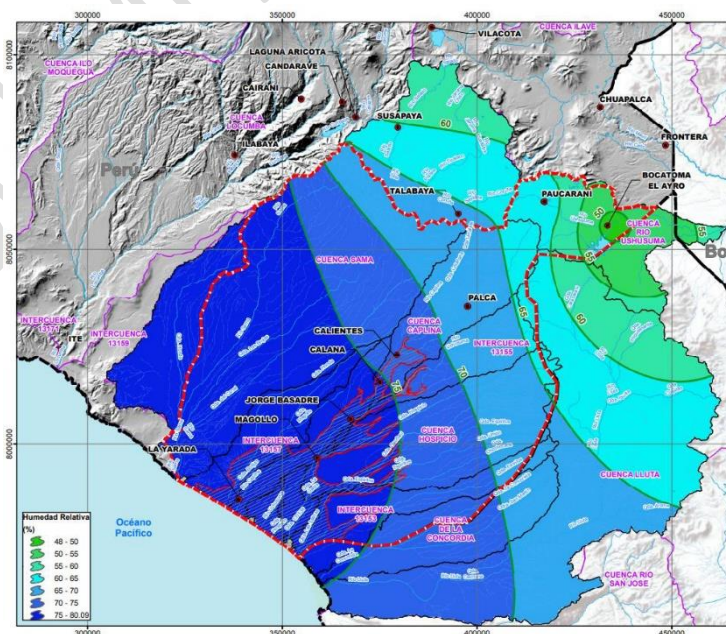


Humedad Relativa

Se cuenta con información de humedad relativa proveniente de 19 estaciones climatológicas, de las cuales 08 se encuentran en la zona baja (0 a 1500 msnm), 06 en la zona media (1500 a 4000 msnm) y 05 en la zona alta (4000 a 5200 msnm).

En la Figura 4 se presenta la distribución espacial de la humedad relativa a nivel medio anual del área de estudio.

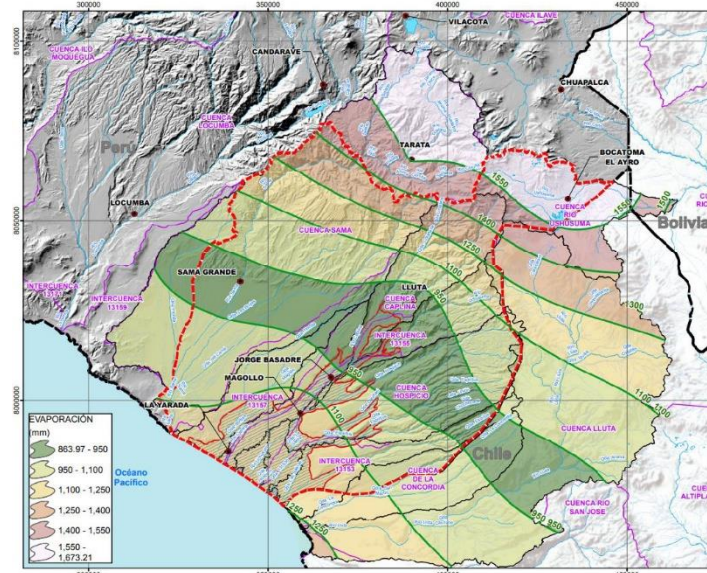
Figura N. 5 Ubicación hidrográfica.



Evaporación

En la Figura 5 se presenta la distribución espacial de la evaporación a nivel medio anual del área de estudio.

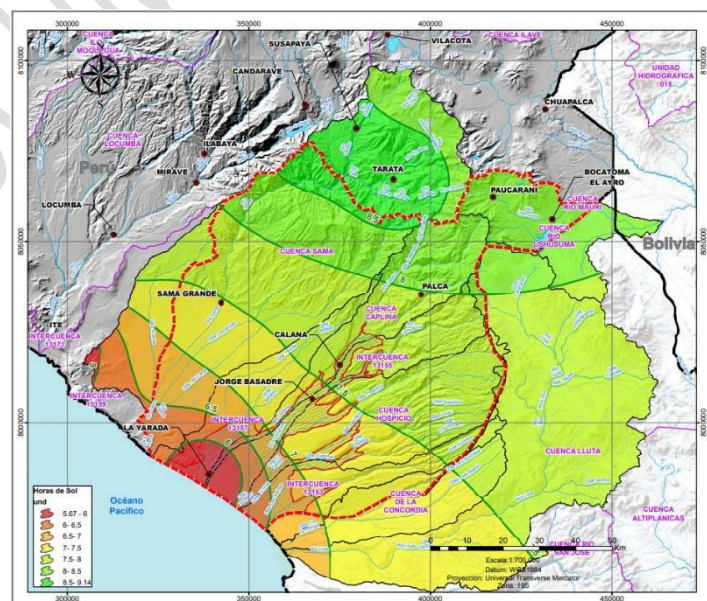
Figura N. 6 Evaporación media anual.



Horas de Sol

En la Figura 7 se presenta la distribución espacial del número diario de horas de sol a nivel medio anual del área de estudio; siendo la zona alta de las cuencas la que presenta mayores horas de sol.

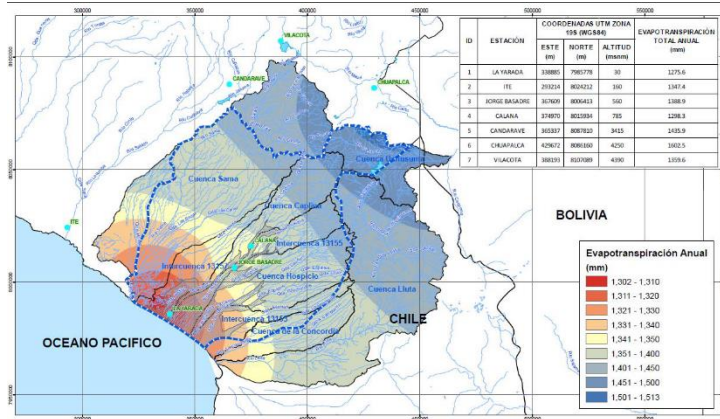
Figura N. 7 Horas de sol.



Evapotranspiración

La evapotranspiración según el método FAO Penman-Monteith se muestra en el siguiente gráfico.

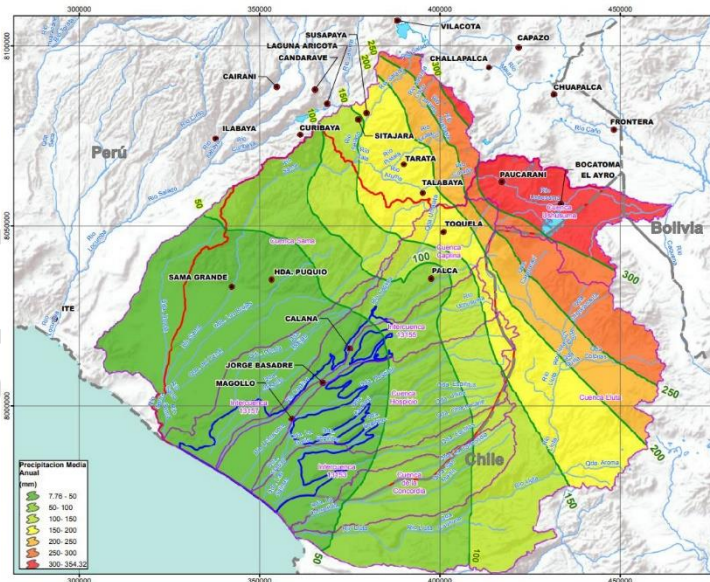
Figura N. 8 Evapotranspiración.



Distribución Espacial de la Precipitación Anual

El mapa siguiente, ha sido elaborado empleando la información de las series de precipitación completadas y extendidas al periodo común 1964-2021.

Figura N. 9 Precipitación.

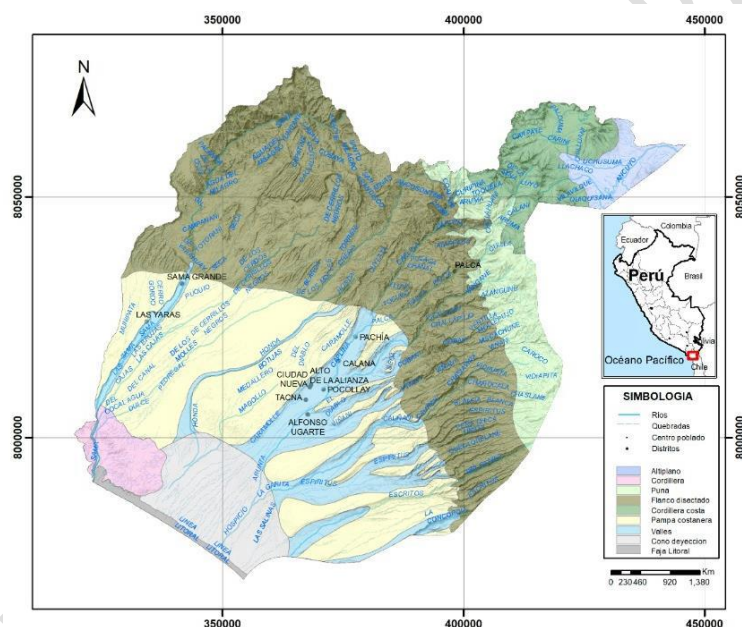


2.2 GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGÍA

2.2.1 Geomorfología del área

La íntima relación existente entre la morfología y las aguas subterráneas, condicionada por la geología, da origen a la distribución de permeabilidades, la disposición de las áreas de recarga y descarga, así como las condiciones de almacenamiento de los acuíferos. Por otra parte, los aportes de precipitación y escorrentía superficial se encuentran condicionados a la pendiente del terreno y a los componentes hidrogeológicos de suelos y rocas. Las unidades geomorfológicas identificadas son: Altiplano, cordillera de los Andes, puna, flancos disectados, pampas costaneras, cadena Costanera, y la faja Litoral (Figura 9).

Figura N. 10 Geomorfología.



Altiplano

Esta unidad geomorfológica consiste en pampas extensas a una altura promedio entre 4200 y 4300 msnm, con algunos conos volcánicos aislados que alcanzan entre 500 y 1000 m de altura, más arriba del nivel de la pampa. Esta unidad corresponde a pampas y/o llanuras en las cuales las aguas superficiales circulan a flor de suelo y las aguas hipodérmicas afloran en las partes bajas durante los periodos húmedos formando lagunas en las cuales se sedimentan las sales por evaporación durante los periodos secos.

Cordillera de los Andes

La cordillera de Los Andes, está formada por una cadena de volcanes erosionados con rumbo Norte-Sur. Dentro de esta unidad se observa un valle de origen glaciar, cuyos flancos alcanzan cotas de hasta 5 000 msnm, y muestran en su cima restos de antiguos conos volcánicos (nevados Paucarani y Condorpico). La intensa erosión glaciar del

Pleistoceno ha producido la destrucción de los conos y rocas volcánicas derrames. Se interpreta que las acumulaciones de nieve se producen sobre estas faldas occidentales por falta de fusión mañanera, lo que explica que los glaciares se desarrollan más al oeste de los nevados. En lo contrario, en las faldas orientales, los procesos periglaciares se desarrollan más que los procesos glaciares, debido a los deshielos mañaneros muchos más frecuentes y los vientos que soplan desde el este intervienen solo para acelerar los procesos de desecación de las rocas atacadas por el hielo.

Puna

Esta unidad se desarrolla entre 3 800 y 4 500 msnm, cubierta de una estepa de ichu, tola y llareta, se caracteriza por presentar zonas planas en altura. El relieve general varía de ondulado a moderadamente escarpado, posiblemente como consecuencia de la erosión y/o tectónica que afectaron este paisaje. La precipitación fluctúa entre 260 y 330 milímetros, las aguas circulan parcialmente en los talwegs y parcialmente en los depósitos detríticos que cubren los flancos de los valles y las partes interfluviales (escurrimiento subterráneo).

Las aguas circulan despacio dentro de una topografía cuyas pendientes medias, de los valles son del 3 al 5%, lo que deja bastante tiempo para la evapo-transpiración durante las estaciones secas; durante la estación de lluvias de verano las aguas hipodérmicas emergen parcialmente y las aguas superficiales circulan según el mecanismo del “rill-wash”, lo que da un balance más favorable, con manantiales temporarios y permanentes en los flancos de los valles.

Flanco Disectado

Esta unidad geomorfológica se desarrolla entre 1400 y 3800 m,s,n,m, se caracteriza por presentar una topografía muy diferenciada y accidentada originada por la actividad tectónica (levantamiento andino) y la erosión de los ríos (desarrollo de valles), cuyas pendientes medias son entre los 15 a 20 %, lo que da condiciones favorables al escurrimiento del agua.

Las precipitaciones fluctúan entre 50 a 200 mm por año según la estación meteorológica de Palca a 3000 m, de altura en años secos y 300 mm aproximadamente en años muy húmedos, Esta unidad abarca los interfluvios ente subcuencas, cañones, cuencas de erosión y valles.

Pampas costaneras

Esta unidad geomorfológica se encuentra ocupando una extensa depresión entre la cordillera de la Costa y el flanco disectado. Comprende un territorio llano a suavemente ondulado entre 200 y 1400 m, de altitud, ancho entre 30 y 50 km,, que ha resultado de la acumulación de sedimentos clásticos del Terciario superior y Cuaternario. Este territorio se halla disectado por numerosos valles y quebradas profundas y secas que corren en dirección SO y que separan amplias superficies planas conocidas regionalmente con el nombre de pampas.

Esta zona abarca la superficie Huaylillas, los valles de ríos perennes y no perennes, valles en la pampa costanera y en las desembocaduras heredadas de las crisis climáticas del Pleistoceno.

Cono de Deyección

Esta unidad se inicia en las cercanías de la Punta Magollo y se ensancha progresivamente aguas abajo hasta alcanzar el océano, adoptando una forma triangular cuya base mide aproximadamente 20 km, La topografía de este abanico aluvial es completamente llana con suave inclinación al Oeste y está surcada por numerosas quebradas superficiales. El cono aluvial ha sido formado principalmente por el acarreo del río Caplina, con aporte de las quebradas Honda y Hospicio. La acción erosiva del río Caplina ha sido muy intensa durante el Cuaternario, habiendo cortado notablemente la planicie.

Cadena Costanera

Esta unidad se emplaza paralela a la línea de costa y comprende los cerros La Yarada y La Morena o Pabellones, con una altura que fluctúan entre 50 y 300 msnm. En la desembocadura del valle de Tacna, la cadena costanera desaparece en las inmediaciones del balneario Llostay y de el pozo (Perú) para luego emerger en Arica (Chile). Esta cadena se comporta como estructura condicionante de almacenamiento de aguas subterráneas.

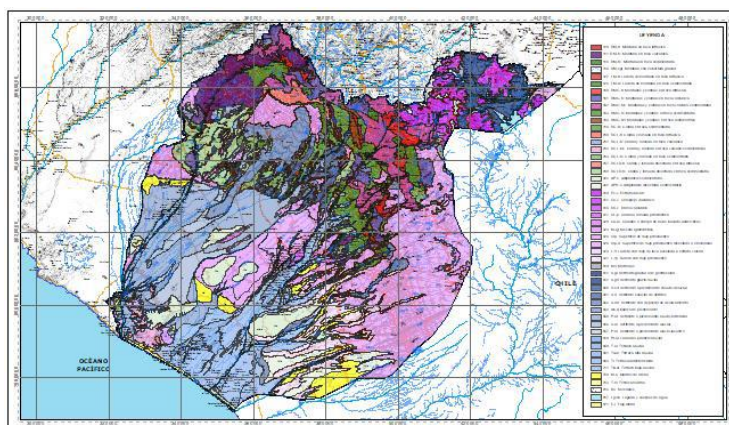
Faja Litoral

Es una angosta faja de terreno llano que se extiende entre la ribera del mar y el pie de la cadena Costanera, su ancho varía desde pocos metros en el extremo NO en el morro Sama, hasta un máximo de 5 km, a la altura de los cerros de La Yarada. La faja litoral comprende las actuales playas y antiguos niveles costeros (terrazas marinas), conformados por materiales como arenas eólicas, arenas y conglomerados bioclásticos de origen marino, y pequeños niveles de evaporitas.

2.2.1. Geomorfología regional relieve litológico

En la zona de estudio se identificó tres ambientes morfogenéticos responsables de la construcción de las geoformas presentes, un ambiente estructural donde actúan las fuerzas de la dinámica interna de la tierra, un ambiente denudacional donde se han dado procesos de meteorización, erosión y fenómenos de remoción en masa y un ambiente fluvial - lagunar asociado a la dinámica de los ríos y a los procesos de erosión y depositación. Se han identificado 40 unidades geomorfológicas asociadas a estos ambientes como: montaña, ladera de montaña, montañas y colinas, colinas, lomadas, altiplanicie, estratovolcán, complejo volcánico, domo volcánico, colina o lomada piroclástica, coladas, mesetas, superficie de flujo piroclástico, ladera con flujo de lava, ladera con flujo piroclástico, morrenas, vertientes o piedemontes, llanura o planicie aluvial, terrazas, mantos de arena, vertiente con depósito de deslizamiento, bofedales y faja litoral (Figura 10).

Figura N. 11 Geomorfología Regional.



Altiplano

El paisaje muestra una topografía madura suavemente ondulada con valles anchos y tendidos, pampas, lagunas, de las que existen depresiones en las que se han desarrollado áreas pantanosas. Las colinas son de perfiles suaves y están cubiertas por materiales clásticos, lo mismo que los flancos de los conos volcánicos hasta alturas de cerca de, 5 800 m.s.n.m. En las partes superiores de los conos se distinguen pequeños circos glaciares y remanentes de morrenas que atestiguan la glaciación pleistocénica.

El área se caracteriza por presentar las siguientes unidades geomorfológicas: estratovolcanes, morrenas (Mo), bofedales (Bo), colinas y lomadas en rocas volcano-sedimentarias (RCL-rvs), superficies de flujos piroclásticos (Sfp) y vertientes glacio-fluviales (V-gfl), lagunas y cuerpos de agua (Lg/ca), hacia el noroeste de la laguna se identifican vertientes o piedemontes aluvio-lacustres (P-al).

Cordillera de los Andes

Corresponde a las geoformas generadas por la geodinámica, especialmente asociadas a vulcanismo, plegamientos y fallamientos. El modelado de su relieve actual a lo largo de la cadena volcánica se debe a una meteorización mecánica erosión glacial de las últimas crisis climáticas, destacando grandes valles en U, circos glaciares, formas aborregadas, colinas de depósitos morrénicos.

En la zona de estudio se identifican complejos volcánicos (Co-v) como Barroso y complejo volcánico Condorpico, estratovolcanes (Es-v), domos volcánicos (Do-v), Casiri, morrenas (Mo), bofedales (Bo) que predominan hacia el oriente de la cordillera, en ambos márgenes del río Ushusuma, quebrada Carini y quebrada Curimani montaña en cobertura glacial (RM-cgl), superficies de flujos piroclásticos (Sfp) y vertientes glacio-fluviales (V-gfl), lagunas y cuerpos de agua.

Puna

Esta unidad se caracteriza por poseer una topografía moderada, con altitudes entre 4 000 y 4 200 msnm, Parte de las zonas geomorfológicas de esta área se encuentran en la cuenca Caplina y Sama, las cuales se caracterizan por presentar montañas y colinas en roca volcano-sedimentaria (RMC-rvs), montañas y colinas en roca intrusiva (RMC-ri), montañas y colinas en roca volcánica (RMC-rv), montaña en roca intrusiva (RM-ri), ladera

de montaña en roca sedimentaria (LM-rs), colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs) en las cabeceras de las quebradas Espíritus y Peña Chica se reportan coladas o campo de lavas (Ca-la), entre Chulpa y Cuanavira, entre las quebradas Coroco y Mollepujo se observan superficies de flujo piroclástico disectado o erosionado (Sfp-d).

Flanco Disectado

En la cuenca Caplina, las cadenas de montañas van en altitudes entre los 1300 msnm por el sector de Calientes, Chuscuco y 3800 msnm en el cerro Peña Chica, cuenca Sama Alto Camilaca, toma de Antavilca, cerro Negro Sal. El modelado del relieve está relacionado directamente con la tectónica y dinámica interna de la tierra que ha contribuido a la formación y configuración actual del territorio y asociado al choque de las placas de Nazca y Sudamericana. Entre Bocatoma y Cobani, se observan montañas y colinas en rocas intrusivas (RMC-ri), en Higuera y Hacienda las montañas y colinas son en rocas volcánicas (RMC-rv) y superficie de flujo piroclástico disectado o erosionado (Sfp-d).

Pampas costaneras

En la cuenca Caplina, entre San Pedro y Los Olivos se identifican terrazas marinas (T-m), desde Collasuyo y Nuevo Copare se reconocen vertientes o piedemontes aluviales (V-al), y hacia el sur de Magollo un manto de arena (M-a), hacia el norte de Santa Elena se reportan superficies de flujo piroclástico (Sfp) y laderas de flujo piroclástico (L-fp), en las cabeceras de las quebradas Caramolle y el Diablo las superficies de flujo piroclástico se encuentran en un relieve disectado (Sfp-d), Entre Calana, El Peligro, Pachia y Miculla, en ambos márgenes del Río Caplina se identifican colinas y lomadas en rocas sedimentarias (RCL-rs), hacia el norte de Calientes, entre Challata y Tocuco, los relieves corresponden a vertientes o piedemontes aluvio-torrencales (P-at).

Cadena Costanera

Consiste en una faja con anchos variables de 5km en la quebrada del Río Caplina y 20 km en el sector de Sama, se manifiesta como una zona elevada al este del poblado de Boca del río, donde los cerros alcanzan alturas que fluctúan entre los 200 a 300 msnm, van perdiendo gradualmente su elevación y aparecen nuevamente en el morro de Arica (extremo norte del territorio chileno), En la cuenca Caplina, geomorfológicamente, se identifican las siguientes unidades: Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs), colina y lomada en roca intrusiva (RCL-ri) colina y lomada en roca volcano-sedimentaria (RCL-rvs), superficie de flujo piroclástico disectado o erosionado (Sfp-d).

Faja Litoral

Comprende planicies con pendientes planas a onduladas ligadas al litoral. Producto de la exposición de antiguos lechos marinos. Por su geología muchas veces pueden formar terrazas de acumulación, plataformas de abrasión; todas estas geoformas vienen a constituir el paisaje de planicie marina del litoral costero que se puede observar a lo largo de toda la carretera costanera. En el litoral costero del acuífero se puede observar las unidades de terraza marina (T-m).

2.2.3. Geología

Geología regional

Los acuíferos que se explotan actualmente se encuentran almacenados en depósitos cuaternarios no consolidados del Neógeno-Plioceno, que rellenaron superficies de erosión en la parte proximal del valle Caplina y cubetas y/o zonas de depresión producto del tectonismo del pasado, Las cuencas hidrológicas que aportan a la recarga se desarrollan principalmente sobre afloramientos de rocas volcánicas y volcánico-sedimentarios, cuya litología y estructura condicionan los regímenes hídricos superficiales y la calidad química de las aguas que alimentan los acuíferos.

Regionalmente en el área de estudio, afloran rocas cuyas edades van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario reciente (Figura 12).

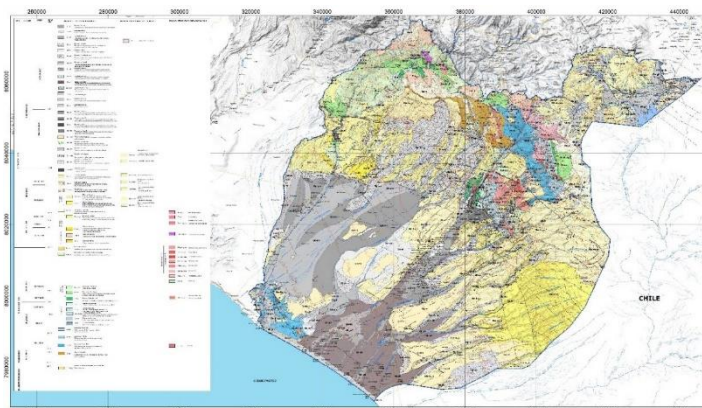
Figura N. 12 Unidades estratigráficas.

ERAT.	SISTEMA	SERIE EPOCA	PISO EDAD	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	Metros	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN		
CENOZOICO	NEÓGENO	PLEISTOCENO	DEPOSITOS CUATERNARIOS				Conglomerados, areniscas y limolitas.		
			VOLCÁNICO BARROSO				Lujos y lavas de composición traquítica, andesita		
		PLIOCENO	TOBA PACHIA		42		Toba de color rosado, con pómez, ilocón, cuarzo		
			CONGLOMERADO CALIENTES		100		Conglomerados polimictos.		
		MIOCENO	MEO-SUP	FORMACIÓN MAGOLLO		100-120		Conglomerados y areniscas gris oscuras	
	MEO-INF		FORMACIÓN HUAYLILLAS		04-400		La parte inferior compuesta por tobas intercaladas con niveles de conglomerados y areniscas y la parte superior compuesta por tobas rílicas y nodulosas		
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	FORMACIÓN MOQUEGUA		04-100		Conglomerados con lentes de areniscas y limolitas		
			FORMACIÓN HUILACOLLO		200-1000		Intercalaciones de brechas andesíticas, tobas dacíticas y rílicas con buena estratificación, y areniscas tobáceas		
		EOCENO	?	FORMACIÓN TARATA		1400		Brechas y derrames andesíticos estratificados seguido por conglomerados, niveles de areniscas y lujos verdosos, y conglomerados intercalados con areniscas lujales, paquete tobas de color gris claro, con canchales y tobas.	
				FORMACIÓN TOQUEPALA		1076		Volcánicos intercalados con lentes de sedimentos. Los volcánicos varían de composición entre rílica y andesita, con un predominio de rocas proclíticas. Los sedimentos son de conglomerados y areniscas tobáceas compuesto de materiales volcánicos.	
MEZOZOICO		CRETÁCICO	SUPERIOR						
	INFERIOR			APTIANO HAUTERIVIANO	FORMACIÓN CHULLUNCANE		300		Areniscas grises, conglomerados compactos, y derrames volcánicos basálticos a andesíticos.
				VALANGNIANO	FORMACIÓN CHACHACUMANE		400-100		Areniscas cuarcíticas grises y cuarcitas gris claras a blancas, que se alternan con niveles de lutitas negras y gris oscura.
	JURÁSICO	SUPERIOR	KIMERIDGIANO	FORMACIÓN ATASPACA		1200		Lutitas oscuras con areniscas grises, calizas oscuras, algunas niveles de margas. Lutitas con intercalaciones de bancos de areniscas grises seguidas por areniscas grises.	
			CALOVIANO	FORMACIÓN SAN FRANCISCO		300-400		Conglomerados y areniscas calcáreas con abundante clasto de caliza. Limolitas grises intercaladas con calizas grises con fragmentos de tobas. Caliza gris oscura en estratos de 20 a 30 cm y abundantes nodulos de caliza con tobas.	
		MEDIO							
			TOARCIANO	FORMACIÓN PELADO		10-200		Conglomerados con clastos de roca volcánica seguido por lutitas y calizas tobales gris oscura.	
		INFERIOR							
	SINEMURIANO		FORMACIÓN JUNERATA		>1000		Andesitas basálticas, afánítica de color gris oscura. La parte superior conformada por cuarcas volcánicas de color gris verdoso con lutita fúsil interrumpida por delgadas niveles de micoconglomerados con clastos de roca volcánica.		
	TRIÁSICO								
PALEOZOICO	CARBONÍFERO	MISSIPIANO	GRUPO AMBO		2000		Conglomerado con clastos de cuarzo, lutitas negras con areniscas calcáreas fosilíferas con nodulos de lutita fosilífera.		
			FORMACIÓN MACHANI		1200		Conglomerados con clastos de greses a la base seguidos de limolitas negras con areniscas cuarcosas. Luego por areniscas pardas oscuras con capas de lutita negra. Termina con areniscas pardas con limolitas oscuras, calizas y conglomerados.		
	DEVÓNICO ?								
PROTEROZOICO			BASAMENTO METAMÓRFICO MAL PASO				Ortoques y pegmatitas compuesta por ortosa, muscovita y cuarzo.		

Geología local

Este capítulo es el resultado del mapa geológico de campo realizado en el área de estudio. A continuación, se describen cada una de las unidades litoestratigráficas identificadas desde las formaciones geológicas más antiguas hasta las más modernas (Figura 13).

Figura N. 13 Unidades litoestratigráficas.



Complejo Basal de la Costa (PPe-gn/e)

El complejo basal es el conjunto de rocas más antigua de la región, se encuentra en el flanco disectado, entre los límites de las cuencas Sama y Caplina, en Huacano Chico y Mal Paso, se identifican gneises gris oscuros, los cuales presentan bandeamientos de 1 a 4 cm aproximadamente de ancho, las bandas están compuestas por cuarzo (30-40%), anfíboles, biotitas, y feldespatos. Las características estructurales como diaclasas, fallas y fracturas están asociadas al sistema de falla Incapuquio registran los valores más altos de densidad e intensidad de fracturas.

Grupo Cabanillas (D-ca)

El Grupo Cabanillas se encuentra en discordancia sobre el gneis del complejo basal, Litológicamente está compuesto por lutitas grises y negras en capas centimétricas de 5 cm, con patinas de óxidos. En la quebrada ubicada al este de Portillo Cori Vilique se observan intercalaciones de lutitas grises, limolitas verdes con estructura nodular y areniscas grises de grano fino en estratos de 30 cm de espesor con presencia de nódulos.

Formación Chocolate (Ji-cho)

Esta unidad se ubica en la unidad geomorfológica cordillera de la Costa, infrayace a la Formación Pelado, aflora en los cerros Fuerte Los Españoles, La Mina y la parte baja del cerro Siete Colores. Está conformado de flujos mayormente andesíticos porfiríticos pardo rojizo y gris verdoso, Se observa también secuencias sedimentarias de lutitas y areniscas cuarzosas y feldespáticas con contenido volcánico de grano fino a medio, beige y gris violáceas con presencia de Pirolusita; mientras que los afloramientos de esta unidad en el cerro Moreno son netamente volcánicos de flujos andesíticos pardo rojizo y gris verdoso con variaciones en el tamaño de los cristales. Además, se observan ocasionales diques riódacíticos y andesíticos pardos violáceos.

Formación Pelado (Ji-pe)

Está constituida por calizas grises, grainstone, en estratos de 15 a 30 cm de espesor, se intercalan niveles de limolitas violáceas en capas de 5 cm de espesor. En el cerro Pelado, se encuentra el estratotipo de la unidad, donde se observa que litológicamente estos afloramientos están constituidos por facies carbonatadas de calizas gris oscuras de tipo mudstone, ammonites y vetillas de calcita de 0,5 cm, se encuentran nódulos calcáreos de composición mudstone, en algunas partes se identifica yeso fibroso.

Formación Socosani (Jm-so)

Se encuentra en la unidad geomorfológica cordillera de la costa. Esta unidad litoestratigráfica consiste en areniscas cuarzo feldespáticas calcáreas, gris violáceas de grano fino, en capas delgadas con contenido fosilífero. Esta unidad se encuentra aflorando en la unidad geomorfológica flanco disectado en el cerro Huacano, está compuesto mayormente por calizas que varían entre mudstone a grainstone, compactas, de color gris a blanquecinas, pasan a colores pardos y gris oscuras, Se disponen en estratos de 15 a 20 cm de espesor con fracturamiento muy caótico, debido a que se encuentran afectados por el sistema de fallas Incapuquio.

Formación Puente (Jm-p)

Se encuentra en la unidad geomorfológica flanco disectado en el sector noreste de la cuenca Caplina, yace en forma concordante a la Formación Socosani en la quebrada Chachacumane e infrayace a la Formación Labra, Los afloramientos se encuentran además en Copapuquio, cerro Chachacumane, quebradas Quilla, cerro Caplina. En los cortes de la carretera de Copapuquio a Palca, muestran predominancia de una intercalación limoarcillitas, lutitas y limolitas. En general se describe como una potente intercalación de limolitas de color gris oscuro con algunos niveles masivos de areniscas de grano fino de color gris oscuro, pardo a verdoso donde se encontraron fósiles (restos de plantas). Su espesor tiene aproximadamente unos 320 metros.

Formación Cachios (Jm-ca)

Se encuentra en la unidad geomorfológica cordillera de la costa, en la parte baja de la cuenca Sama, aflora entre los cerros La Mina y Siete Colores. Consiste en una secuencia de lutitas, limolitas beige y gris verdosas, areniscas cuarzo feldespáticas pardo amarillentas y violáceas de grano fino a medio. Presenta ocasionales diques de composición andesítica. Estas rocas sedimentarias se encuentran silificadas, y consiste de lutitas y limolitas negras a grises oscuras en bancos gruesos intercaladas con capas delgadas de arenisca. Se depositaron en un ambiente sedimentario de facies fluvial y frente deltaico siendo el aporte continental de sedimentos más abundante.

Formación Labra (Js-la)

Se encuentra en la unidad geomorfológica flanco disectado. En las quebradas Lluta y Tocuco, específicamente en los cerros Challata y Tocuco, la unidad subyace en concordancia a la Formación Gramadal, estas rocas presentan fallas inversas, corresponden a areniscas grises verdosas, cuarzosas de grano medio a fino con laminaciones paralelas al estrato. Las sucesiones estratigráficas inician con areniscas grises a gris verdosas de grano fino a medio, con intercalación de limoarcillitas negras, se observan laminaciones paralelas y oblicuas en capas de 3 m a 10 cm de espesor respectivamente.

Formación Gramadal (Js-g)

Se encuentra en la unidad geomorfológica flanco Disectado. Los afloramientos de esta unidad fueron cartografiados y descritos en la cabecera de la cuenca Sama, en los alrededores, centros poblados de Coropuro, Sambalaya y Putina, donde se describe una intercalación de niveles de lutita y arenisca calcárea, de color gris oscuro, niveles de arenisca cuarzosa gris claro de grano fino a medio y presencia de óxidos de hierro, Esta

zona se encuentra muy alterada, fracturada y plegada, Esto se debe a esfuerzos de compresión.

Formación Hualhuani (Ki-hu)

Esta unidad se encuentra en la unidad geomorfológica flanco Disectado. Los afloramientos de la Formación Hualhuani se encuentran en la quebrada Yungane y alrededores del centro poblado Putina. Se conforma litológicamente de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, de color gris claro, presenta muy buena selección de granos, Asimismo, en los puntos tomados en la quebrada Yungane, se observa que algunos granos se encuentran soldados, debido al plegamiento que se observa en esta zona.

Formación Matalaque (Ki-ma)

Se encuentra en la unidad geomorfológica flanco disectado, Litoestratigráficamente aflora en la parte alta del río Sama, en los alrededores del centro poblado Londoniza, Sambalaya y Putina, los afloramientos son de color verde parduzco a gris oscuro, se encuentran en niveles de rocas volcánicas (andesita porfiríticas de color pardo a violáceo) y aglomerados volcánicos (clastos angulosos a sub angulosos de composición andesítica), las fracturas se encuentran rellenas de calcita.

Formación Quellaveco - Unidad Samanape (KsP-sa)

Se encuentra en la unidad geomorfológica flanco disectado, la parte alta de la cuenca de Sama, en los alrededores del centro poblado Palanca, en las márgenes del río Sama. En la base se encuentra constituida por tobas cristalolíticas de composición riódacítica, de color gris rosáceo compuesta por cristales de plagioclasas, cuarzo, feldespatos y biotita en una matriz de ceniza consolidada. Esta unidad se ha reconocido además a lo largo de la carretera hacia Tarata, en el río que discurre paralelo a la carretera, entre Chero y Huacano, Consta de tobas que varían entre color rosado a violáceas, matriz soldada, textura porfirítica.

Formación Sotillo (Pp-so)

Se encuentra en la unidad geomorfológica flanco disectado, en la parte alta de la cuenca de Sama en los alrededores del centro poblado Chascani. Consiste de areniscas arcóscicas Lodolitas rojas, conglomerados en una matriz areno-limosa. Por su baja permeabilidad no son favorables al flujo subterráneo en consecuencia.

Formación Tarata inferior (P-ta_i)

Se encuentra en la unidad geomorfológica flanco disectado, en la parte alta de la cuenca de Sama. Se observa en el cerro Tijerani y de las quebradas. Esta Formación está conformada por una secuencia volcánica de piroclastos arenosos, flujo de lavas y tobas.

Formación Tarata superior (P-ta_s)

Se encuentra en la unidad geomorfológica flanco Disectado. En la parte alta de la cuenca Sama se ha reconocido en el cerro Talane. Está constituido por tobas de cristales color gris rosáceo, contiene cristales de plagioclasa alteradas (30-40%), fenocristales de piróxenos de hasta 3 cm (30%), presenta algunos xenolitos. También se han reconocido tobas líticas, alteradas, de color pardo amarillento, con contenido de cristales de

plagioclasas (30%), cuarzo (20-30%), y biotitas alteradas (30%), Contiene líticos polimícticos subangulosos de 3 cm de diámetro en promedio en un 40-50%.

Formación Moquegua inferior (Pp-mo_i)

Se encuentra en la unidad geomorfológica flanco disectado en la parte media de la cuenca Sama, se encuentran en las quebradas de Puquio, Cerro Puquio, Quebrada Seca, del Toro Muerto, Yarahuay, Totorani y Sama, específicamente en los cerros Tinajo, la Machorra y El Horno, que está conformado con litologías de areniscas gris pardas, arcillas con intercalación de lodolitas rojas y conglomerados polimícticos con clastos subredondeados a redondeados, de 2 a 5 cm de diámetro, con litologías de andesita porfirítica, areniscas grises – amarillentas, riocacita rosadas y monzonita, inmersos en una matriz limoarenosa.

Formación Moquegua Superior (Pp-mo_s)

Se encuentra en la unidad geomorfológica pampa costanera en la superficie Huaylillas en la parte baja de la cuenca Caplina. En los cerros El Perdido y Los Churcos; y constituye de conglomerados polimícticos con clastos de rocas volcánicas predominando sobre los intrusivos, seguido en secuencias de areniscas en facies de canales. En la cuenca Caplina Flanco Disectado la Formación Moquegua Superior tiene espesores que varían entre 150 y 250 m, Sobreyace a la Formación Moquegua Inferior, e infrayace la Formación Huaylillas la potencia del depósito es aún más marcada mientras más cercana a la cabecera de la cuenca (cordillera Occidental), Los depósitos sedimentarios son de ambientes canalizados y están organizadas en sets granodecrecientes (conglomerados a areniscas). Estas características permitieron diferenciar a la Formación Moquegua Superior de otras unidades sedimentarias.

Formación Huilacollo (Nm-hl)

Esta unidad se encuentra en la unidad geomorfológica flanco disectado y Puna, Esta unidad aflora en los cerros Guañacahua, Tolaviata, Quilla, Llaullacane, Huilacollo y Cabacollo en la cuenca Caplina, en la cuenca Sama en los cerros Yungane Grande y Resbalacero, Está conformada por rocas volcánicas, predominantemente de flujos litoclásticos y lavas andesíticas de textura porfirítica, en el túnel Huaylillas sur se compone por dacitas porfiríticas cloritizadas, sericitizadas y argilizadas por inclusiones diminutas de feldespato potásico, la silicificación se nota por la presencia de cuarzo.

Formación Huaylillas inferior (Nm-hu_i)

Esta unidad se encuentra aflorando en la unidad geomorfológica pampa costanera, superficie Huaylillas y parte del flanco disectado en la cuenca Caplina, entre los Cerros Chuscuco, Huahuapas, Dos Cumbres, Medano, Precipicio, Los Cóndores, Tembladera y Ancocollo y en el flanco izquierdo de la quebrada Viñani ubicados al S-E de la zona de estudio, sobreyace en ligera disconformidad con la Formación Moquegua; litológicamente está constituida de tobas de color beige a blanco rosadas friables de composición riocacítica con líticos de pómez, de grano fino a medio de 1 mm a 1 cm, contiene cuarzo bipiramidal en una matriz de ceniza plagioclasa, y biotitas alteradas.

Formación Huaylillas superior (Nm-hu_s)

Esta unidad se encuentra aflorando en la unidad geomorfológica cordillera de la costa, en la parte baja de la Cuenca Sama, en los Cerros Fuerte Los Españoles, Calvario, La Mina, Moreno, Siete Colores, Punta Colorada y Miraflores, Consiste de una secuencia volcánica de tobas cristalolíticas de composición riolítica, dacítica con tonalidades rosáceas, en algunos casos con presencia de epidota producto de la alteración de los feldespatos. Presenta una considerable porción de material evaporítico compuesto principalmente por yeso apreciable en el Cerro La Mina, donde se encuentra en contacto discordante con la Formación Chocolate. Esta unidad litoestratigráfica presenta alteración supérgena e intensa meteorización mecánica por termoclastia.

Formación Maure (Nm-ma)

Esta unidad se encuentra en la unidad geomorfológica Altiplano. En los cerros Pocacahua y Queuñane, Litológicamente, está constituida por brechas, conglomerados, areniscas, tufos, limolitas y arcillas. La brecha es de origen volcánico y de color gris verdoso, las areniscas son de grano medio, color pardo-amarillento a rosado y fácilmente deleznales. Los tufos son de composición dacítica y riolítica y de naturaleza lítica, presentan una coloración amarillenta a crema, tienen poca consistencia y abundantes inclusiones de pómez, Los conglomerados están conformados por andesitas. Esta unidad infrayace a las tobas Sencca.

Formación Sencca (Np-se)

Esta unidad se encuentra aflorando en la unidad geomorfológica Altiplano. En el cerro Queuñane y quebrada Ancuyo, está constituida por volcánicos de naturaleza piroclástica de composición riolítica, con frecuentes tufos líticos brechoides, con grandes granos de cuarzo, feldespatos y micas, de color blanco crema hasta rosado, tomando por alteración un color parduzco, la meteorización física por crioclastia ha reducido estas rocas a bloques irregulares, de diferentes tamaños que muestran una erosión característica topográficamente, esta unidad está constituida por formas ligeramente inclinadas, Infrayace en discordancia paralela con la Formación Capillune.

Formación Capillune (Np-ca)

Esta unidad se encuentra en la unidad geomorfológica Altiplano. En el centro poblado Cantería flanco izquierdo del río Uchusuma, conformada por conglomerados amarillentos por oxidación, de grano medio a fino, con clastos andesíticos subredondeados en matriz areno tobácea, intercaladas con capas de origen cinerítico de arenas finas a gruesas subangulosas, de colores amarillento a negro y arenas tobáceas gris claras; presenta, también, capas lenticulares de tobas riolíticas redepositadas. Presenta una superficie de erosión suavemente ondulada disectada por pequeñas quebradas, muestra escarpas poco empinadas, hacia las partes altas y presencia de zonas de humedad y/ o manantiales en los estratos permeables.

Formación Millo (NP-mi)

Esta unidad se encuentra en la unidad geomorfológica Pampa costanera y parte norte de la cordillera de la costa. La Formación Millo corresponde a una secuencia conformada por conglomerados y areniscas de color gris oscura, con clastos mayormente andesíticos y delgados niveles evaporíticos, la secuencia más representativa perteneciente a la cuenca Caplina la encontramos en la vía Panamericana al noroeste de la ciudad de Tacna

en el cerro Magollo, en el cual se diferencian tres secuencias. Sobreyace de manera erosiva y discordante a la Formación Huaylillas; mientras que en el SE de la zona de estudio entre los cerros Escritos, Espíritus, La Garita, y quebrada Caramolle encontramos esta unidad cubriendo extensas lomadas donde se encuentran clastos subredondeados de lavas andesíticas y areniscas grises mezcladas con arena y limos, ello producto de la constante de la meteorización física a la que se exponen ciertos afloramientos. Ocasionalmente, se presentan afloramientos en forma de domos que han resistido a la acción erosiva.

Depósito Aluvial Pliocénico (Np-cgl/ar)

Esta unidad se encuentra en la unidad geomorfológica Flanco disectado en la cuenca Sama entre los cerros Argandoñas y quebrada del Toro Muerto, en la cuenca Caplina entre los cerros Palanca, Challata, Calientes y la quebrada Tocuco y en el río Caplina. Consiste en paquetes de grandes volúmenes de material detrítico agrupados en la Unidad de Conglomerados polimicticos antiguos y está constituido por cantos rodados, gravas con arenas en una matriz limosas que contienen clastos de tobas de la Formación Huaylillas.

Grupo Barroso (NQ-frE2, NQ-frE1, NQ-cfbE3, NQ-cfbE4, NQ-b-andp)

Esta unidad se encuentra en la unidad geomorfológica Puna, cordillera de los Andes parte oriental y occidental y en el altiplano. Los afloramientos del Grupo Barroso se hallan en la cabecera de la cuenca Caplina, existe un segmento que representa el evento volcánico más reciente ocurrido durante el último millón de años. La cadena montañosa es denominada Centro Volcánico El Fraile (NQ-frE2 y NQ-frE1), aflora en el occidente de la cordillera de los Andes, se encuentra en las faldas de los nevados Chupiquiña y Huanacune. Litológicamente se encuentra compuesta por aglomerados volcánicos polimicticos y lavas andesíticas porfiríticas de color gris (30% plagioclasas). En los niveles lávicos presentan pseudoestratificación con fuerte fracturamiento por meteorización física crioclastia.

Depósitos Cuaternarios del Pleistoceno

Los depósitos Cuaternarios más abundante lo constituyen los depósitos aluviales, proluviales, piroclásticos, subvolcánicos, marinos, glaciares y de colapsos producto del desplazamiento de materiales inconsolidados por los ríos Sama, Caplina y Uchusuma.

Depósito Volcánico – Ceniza (Qpl-ce)

En los cerros la Yarada en la cordillera de costa, en la quebrada Caramolle, cerro Calientes y la quebrada Cobani se han observado depósitos piroclásticos que corresponden a tobas no soldadas de tipo ignimbrítica, acumulados en los valles. Se distingue una toba rosácea con pómez, cuarzos y biotitas, se encuentran infrayaciendo con el depósito aluvial Pliocénico en el cerro Calientes, en consecuencia, se puede estimar este afloramiento es algo favorable para la infiltración y flujo subsuperficial.

Depósito de Colapso (Qpl-colap)

Estos depósitos afloran en la cuenca Sama cerrillos Negros y Huacano, en la cuenca Caplina aflora en el margen derecho de la quebrada Cauñani y margen izquierdo de la Quebrada Viñani en el cerro la Garita, en el cerro Tembladera, cerro Condorine en Palca

en forma de pequeñas lomadas. La litología está compuesta por bloques y cantos de roca volcánica de la Formación Huaylillas de tipo riolititas riodacitas se encuentran fuertemente fracturadas a fragmentadas.

Depósito Marinos (Qpl-ma)

Estos depósitos afloran en la cuenca Sama cerro Munipata y Cerro Llostay, en la cuenca Caplina parte baja de la cordillera de la costa curva del Chaski, consiste en grava arena gruesa a arenas finas y precipitados químicos de carbonatos con presencia de bentonita, calcedonias y rocas pedernales y sílex que evidencian regresiones y transgresiones marinas, Se puede estimar una mayor porosidad intergranular.

Depósitos de morrena (Qpl-mo)

Este depósito aflora en la unidad geomorfológica Puna al occidente de la cordillera y al oriente en el altiplano. Compuestos por una mezcla heterogénea de gravas angulosas de naturaleza volcánica en matriz soportante de arena y arcilla consolidada, que conserva bloques erráticos. Su carácter es semi consolidado, sus características hidrogeológicas, se puede estimar una mayor porosidad primaria intergranular.

Volcánico Purupuruni (Qpl-vpu)

El volcán Purupuruni es un complejo volcánico constituido por siete domos de lava de composición dacítica (66 wt, % SiO₂) y domos colados (domos de lava aplanados y alargados) que se encuentran situados en el sector NE de una gran depresión (probable antigua caldera) rodeada de volcanes extintos del Pleistoceno. Los domos del Purupuruni se extienden en dirección NNE con la excepción del domo medio, orientado en dirección E-O y alturas de hasta 300 m por encima de la altiplanicie. Los domos de lava cubren radios que varían entre 700 y 1000 metros, están presentes de formas aisladas e intactas por la erosión. En la base de los domos se distinguen la presencia de acumulaciones de ceniza retrabajada de color gris claro.

Depósito Proluvial (Qpl_pro)

Se observa relleno de las pampas de Layagache, Cruz Verde, Los Cerrillos y el Arrojadero y quebradas Honda y Munipata en la cuenca Sama. Son depósitos provenientes por corrientes temporales de agua y lluvias extremas durante la última crisis climáticas del Pleistoceno, ocasionando acumulación de fragmentos rocosos y arenas a manera de conos de deyección en su desembocadura. Constituidos por gravas arena limosas y gravas limo arcillosas.

Depósitos Aluviales (Qpl-al1, Qpl-al2, Qpl-al3)

Estos depósitos se extienden en la parte media de la cuenca Caplina en la unidad geomorfológica pampa costanera en las pampas San Francisco en forma de terrazas escalonadas. La litología está compuesta por cantos rodados, gravas con matriz de arena limosa mediamente compactadas. Estos depósitos tienen un alto grado de intemperismo físico mecánico por termoclastia se observa rocas fracturadas.

Depósitos Cuaternarios del Holoceno

Comprende un conjunto de depósitos semiconsolidados a inconsolidados. Sus características hidrogeológicas en estos depósitos, se puede estimar que tienen una

porosidad primaria intergranular, Estos depósitos se hacen favorables para la infiltración y flujo subsuperficial, Se considera un acuífero regular, bueno a excelente con permeabilidades K: 10^{-3} a 101 cm/s. Conformados por depósitos de Playa, de Yeso, Fluvioglaciario, Aluviales, Proluviales, Coluvio-Deluvial, Eluvial, Diluvial, Bofedal, Eólico y Fluviales.

1. Depósito de playa (Qh-pl): Compuesto por arenas medias, limos con fragmentos de conchuelas y biogénicos.
2. Depósitos fluvio-glaciares (Qh-fg): Están conformados por la misma litología que las morrenas.
3. Depósitos aluviales (Qh-al, Qh-al1, Qh-al2, Qh-al3): Está compuesto por bloques, gravas y arenas mezclados de forma caótica; su matriz está constituida por arenas y limos sueltos.
4. Depósito proluvial (Qh-pro, Qh-pro1): Son depósitos ocasionados por corrientes temporales de agua y lluvias extremas durante los años muy húmedos.
5. Depósito coluvio-deluvial (Qh-cd): Conformado por deslizamientos influenciados por el sistema de fallas Sama-Calientes la acción de la gravedad y de las precipitaciones esporádicas.
6. Depósitos eluviales (Qh-el): Conformado por material detrítico regolítico, como resultado de la alteración insitu y meteorización físico mecánica por descompresión y termoclastia.
7. Depósito diluvial (Qh-di): Conformado por materiales heterométricos pobremente sorteados con materiales de suelo y clastos de roca fragmentada subangulosas a redondeados.
8. Depósitos de Bofedales (Qh-bo): Compuestos por material saturado, con presencia de vegetación hidromórfica.
9. Depósitos eólicos (Qh-eo): Formados por arenas finas transportados por el viento que se depositan en las laderas de los cerros.
10. Depósitos fluviales (Qh-fl): Conformados por bloques, bolonería, cantos, gravas y arenas con una matriz areno arcillosa.

Rocas Intrusivas

Los afloramientos intrusivos en la zona son bastante comunes y se han distinguido y agrupado de acuerdo a sus características texturales y mineralógicas en las siguientes: Super Unidad Challaviento, Unidad Intrusiva Yarabamba, Batolito de la Costa - Súper Unidad Ilo y Unidad Intrusiva no Asignada.

1. Super Unidad Challaviento (Pe-bch-gd, sgr): Aflora en los cerros Challaviento y Vilacollo, en los centros poblados Toquela, Caplina, alrededor de pampa Quefune.
2. Granodiorita – sienogranito (Pe-bch-gd, sgr): Esta unidad aflora en los alrededores de Ancoma y al norte de la quebrada Pachosa.
3. Super Unidad Yarabamba (KsP-bc/y-mgr, gd, di, mz, sgr): Aflora en los alrededores de Copapuquio, Chulpapalca, Vilavilani, Cerro Circa.
4. Diorita y Granodiorita Super Unidad Ilo (Ki-i1-di, gd): Aflora en la cordillera de la costa, cerro punta Morena, Llostay y cerro Miraflores donde se han emplazado cortando a la Formación Chocolate.

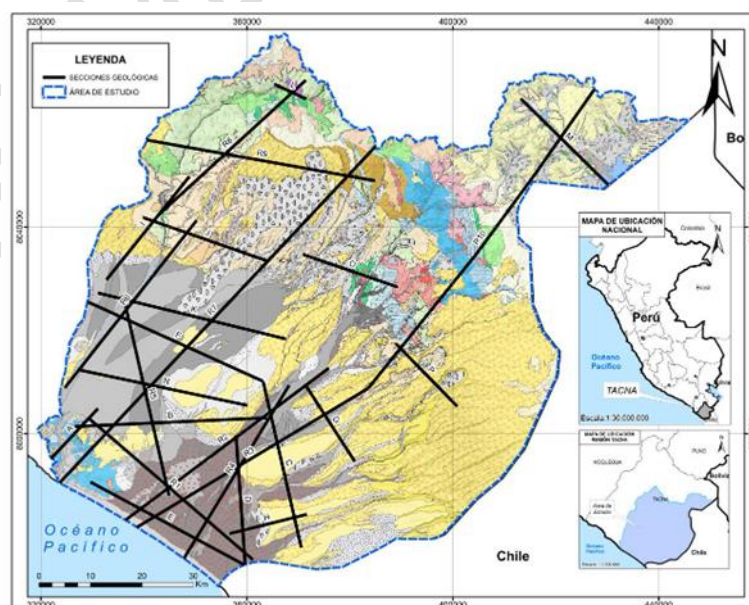
2.2.4 Geología subterránea del acuífero Caplina

Para la construcción e interpretación de la geología del subsuelo, se ha realizado la construcción de veintiséis (26) secciones geológicas entre locales y regionales, para ello se utilizó la información geológica de superficie y de logueos de pozos, además de la interpretación de la geofísica eléctrica (SEV, TDM y Tomografía Eléctrica) y sísmica (Reflexión), En la Tabla 1 y Figura 14 se muestran la ubicación y longitud de las secciones:

Tabla N. 1 Ubicación y Longitud de las secciones

Ítem	Sección	Coordenadas Datum WGS-84.				Long. Km	Tipo
		Este (m) - X _i	Norte (m) - Y _i	Este (m) - X _f	Norte (m) - Y _f		
1	A-A'	331,070	8,004,876	322,011	7,995,269	13.20	LOCAL
2	B-B'	363,825	8,003,076	326,575	8,001,398	37.29	LOCAL
3	C-C'	370,565	7,977,973	363,123	8,010,172	33.05	LOCAL
4	D-D'	359,674	7,974,758	357,891	7,999,700	25.01	LOCAL
5	E-E'	359,462	7,974,644	329,601	7,990,660	33.89	LOCAL
6	F-F'	363,123	8,010,172	329,122	8,025,513	37.30	LOCAL
7	G-G'	380,961	7,994,622	371,409	8,009,392	17.59	LOCAL
8	H-H'	371,680	7,984,389	356,620	7,980,670	15.51	LOCAL
9	I-I'	332,714	8,029,810	348,837	8,049,824	25.70	LOCAL
10	J-J'	363,996	8,033,436	339,802	8,041,881	25.63	LOCAL
11	K-K'	367,691	8,018,326	331,044	8,027,261	37.72	LOCAL
12	L-L'	365,321	8,067,692	371,549	8,064,810	6.86	LOCAL
13	M-M'	413,217	8,064,876	430,233	8,048,190	23.83	LOCAL
14	N-N'	360,149	8,005,481	327,376	8,012,367	33.49	LOCAL
15	O-O'	389,332	8,028,394	370,833	8,034,744	19.56	LOCAL
16	P-P'	400,872	8,005,288	388,891	8,017,496	17.10	LOCAL
17	R1-R1'	361,196	7,975,592	329,287	8,002,984	42.05	REGIONAL
18	R2-R2'	336,461	7,983,315	375,910	8,012,704	49.19	REGIONAL
19	R3-R3'	338,584	7,981,865	383,579	8,008,808	52.45	REGIONAL
20	R4-R4'	347,768	7,975,856	368,186	8,009,372	39.25	REGIONAL
21	R5-R5'	335,934	8,026,885	344,873	7,988,012	39.89	REGIONAL
22	R6-R6'	324,637	8,008,921	350,236	8,041,323	41.29	REGIONAL
23	R7-R7'	323,620	7,990,501	384,998	8,055,651	89.51	REGIONAL
24	R8-R8'	342,829	8,042,365	371,446	8,068,452	38.72	REGIONAL
25	R9-R9'	340,535	8,056,883	384,938	8,048,985	45.10	REGIONAL
26	R10-R10'	383,579	8,008,808	427,522	8,066,713	72.72	REGIONAL

Figura N. 14 Ubicación y Longitud de las secciones



A continuación, se detalla una breve descripción de las secciones y/o cortes geológicos.

Sección Geológica A - A'

La sección A – A' de orientación NE – SO, con una longitud del orden de 13 km. Se extiende desde el sector Cerrillos de los Gredales hasta el cerro Fuertes de los Españoles.

Sección Geológica B - B'

Esta sección geológica elaborada con base a la interpretación de los resultados del mapeo geológico de superficie (plano geológico) y logueos cores y/o chips, tiene orientación general NE – SO con una longitud del orden de 37 km. Se extiende desde el río Uchusuma hasta el cerro Siete colores.

Sección Geológica C - C'

Esta sección preparada con base a la interpretación del mapeo geológico de superficie (plano geológico) y logueos cores y/o chips, tiene orientación preferencial SE-NO, con una longitud de 33 km, Se extiende desde la Lomada Escritos hasta el Cº Para.

Sección Geológica D - D'

Esta sección está elaborada con base a los resultados e interpretación del mapeo geológico de superficie (plano geológico), logueo litoestratigráfico de los pozos TDY-02, P-42-R y P-43-R, Tiene orientación general SE – NO, con una longitud del orden de 25 km, Se extiende desde la línea fronteriza Perú-Chile hasta el Cº Magollo.

Sección Geológica E - E'

Esta sección geológica elaborada con base al levantamiento geológico de superficie y logueo de los pozos: TD-3, P-34-R, P-33-R, P-30-R, P-32-EXPL y TDY-1, presenta una orientación general SE – NO, paralela a la Faja litoral, con una longitud del orden de 34 km. Se extiende desde la línea fronteriza Perú-Chile hasta el Cº de La Yarada.

Sección Geológica F - F'

Esta sección ha sido elaborada con base a los resultados e interpretación del levantamiento geológico de superficie (plano geológico) y el logueo de los pozos PEL-01 y PDS-05, presenta una orientación SE – NO, se extiende aproximadamente desde la Lomada de La Cruz hasta el lugar denominado Química Sol, con una longitud del orden de 34 km., desarrollándose sobre terrenos de relieve suave a moderado.

Sección Geológica G - G'

Esta sección geológica está elaborada con base en la información obtenida del mapeo geológico de campo y su interpretación, Tiene una longitud de 17,6 km, con una dirección NO – SE. Se extiende desde la quebrada Uchusuma hasta el Cerro Conchitas.

Sección Geológica H - H'

Se ha elaborado esta sección con base en la información del mapeo geológico expuesta en el entorno de la línea de sección (plano geológico). La sección geológica tiene una longitud de 15,5 km de longitud, con dirección general NE-SO, se extiende desde la Lomada de Espíritus hasta la Pampa de Hospicio.

Sección Geológica I - I'

Esta sección de 25,6 km de longitud y rumbo SO – NE, ha sido elaborada con base a la información procedente del mapeo geológico de superficie. Se extiende desde el sector Arrogadero hasta cerca a la quebrada Agua del Milagro (afluente del río Sama por su margen izquierda).

Sección Geológica J - J'

Esta sección transversal de 25,6 km de longitud y rumbo SE – NO, ha sido elaborada con base a la información procedente del mapeo geológico de superficie. Se extiende desde la quebrada Cerrillos Negros hasta el río Sama.

Sección Geológica K - K'

Esta sección geológica ha sido elaborada con base en la información procedente del mapeo geológico y logueo de los pozos PDS-05 y PEL-01, La sección geológica de 37,7 km de longitud, de dirección NO-SE, se extiende desde el sector de Arrogadero (Lomas de Sama Grande) hasta el Cerro Caramolle. La línea de sección geológica en su ruta cruza el río Sama, Pampa del Pedregal, Quebrada Las Brujas, Quebrada del Canal, Pampa de Layagache, Quebrada Honda y Quebrada Botijas.

Sección Geológica L - L'

Sección geológica transversal ubicada en la parte alta de cuenca del río Sama el cual ha sido elaborada con base en la información procedente del mapeo geológico de superficie La sección geológica de 6,83 km de longitud, de dirección NO-SE, se extiende de forma paralela al río Sama.

Sección Geológica M - M'

Esta sección geológica de 23,8 km de longitud, con orientación NO-SE, se ubica en la cuenca del río Uchusuma perteneciente a la vertiente del Lago Poopó (Bolivia), La línea de sección, se extiende desde la zona de cabecera del río Uchusuma hasta el límite fronterizo con Chile (Laguna Blanca).

Sección Geológica N - N'

Esta sección de 33,5 km de longitud y rumbo NO-SE, ha sido elaborada con base a los resultados del mapeo geológico y su interpretación. Se extiende desde el río Sama (Sector El Huayco) hasta el Cerro de Para.

Sección Geológica O - O'

Esta sección geológica de 19,6 km de longitud, con rumbo SE-NO, se extiende desde el sector de Lluta/Sircana hasta el Cerro Norte Chero. La línea de sección se desarrolla sobre terrenos de topografía muy abrupta, con predominio de pendientes fuertes, con alturas que van desde los 1550 hasta los 2250 msnm y disectada por numerosas quebradas transversales.

Sección Geológica P - P'

Esta sección geológica de 17,10 Km, con rumbo SE-NO, se extiende desde El Mal Paso hasta Soledad, cruzando por las Quebradas Cobani, Hospicio, Cauñani, Chaslane y Blanca, La línea de sección se desarrolla sobre una topografía abrupta, con alturas que van desde los 1500 a 2900 msnm.

Sección Geológica R1 - R1'

Esta sección se ha confeccionado e interpretado con información del mapeo geológico de superficie, y logueo de los pozos TDY-2 y TD-5, La sección geológica de 42 km de longitud, tiene una orientación general SE-NO en forma paralela a la faja litoral y se extiende desde el límite fronterizo Perú-Chile hasta el punto de intersección con la línea de sección A-A' (Sector Cerrillos de Los Gredales).

Sección Geológica R2 - R2'

Esta sección ha sido elaborada con base al mapeo geológico de superficie y logueo de los pozos P-31-R, P-36-R, P-37-R, P-14-R, IRHS-3 y P-11-R, La sección geológica de 49 km de longitud, tiene orientación general SO – NE. Se extiende desde el nivel del mar (0 msnm) hasta el sector de Piedra Blanca (al pie del Cº Mamacocho).

Sección Geológica R3 - R3'

Esta sección geológica ha sido elaborada con información del mapeo geológico de campo y logueo de los pozos P-44-R, P-32-EXPL, TDRY-02, TDRY-01, P-40-EXPL, P-29-R, P-19R y P-4, La sección de 52,5 km de longitud, tiene orientación SO – NE. Se extiende desde el nivel del mar (0 msnm) hasta un sector afluente de la margen derecha de la quebrada Viñani.

Sección Geológica R4 - R4'

Esta sección geológica está elaborada con base a la información del levantamiento geológico de superficie y logueo del pozo P-33-R, La sección de 39 km de longitud, tiene orientación general SO – NE. Se extiende desde el nivel del mar (0 msnm) hasta un sector del río Caplina.

Sección Geológica R5 - R5'

Esta sección geológica ha sido elaborada con información procedente del mapeo geológico de superficie y logueo del pozo PDS-05. La sección de 40 km de longitud, tiene orientación general NO – SE, Se inicia en un sector de las Pampas del Eslagonal y termina a la altura de la Hacienda El Carmen (Pampa de La Yarada).

Sección Geológica R6 - R6'

Esta sección geológica está elaborada con información procedente del mapeo geológico de superficie y logueo del pozo PDS-05, La sección de 41 km de longitud, tiene orientación general SO – NE. Se extiende desde el sector La Morena hasta el Cº Campanani, Del km 0 al km 27,5 se desarrolla paralelo al río Sama, coincidiendo en gran parte con el denominado Lineamiento Sama.

Sección Geológica R7 - R7'

Esta sección geológica está elaborada con información procedente del mapeo geológico de superficie y logueo del pozo PEL-01, La sección de 89,51 km de longitud, tiene orientación general SO – NE, Geomorfológicamente se extiende desde la Cordillera de la Costa hasta el flanco disectado, desde el sector La Morena hasta la quebrada San Francisco.

Sección Geológica R8 - R8'

Esta sección de 38,7 km de longitud, con rumbo SO-NE, se extiende aproximadamente desde el sector La Apacheta hasta Cotani. La línea de sección geológica se desarrolla sobre terrenos de relieve moderado a escarpado, con alturas que van desde los 730 hasta los 2923 msnm, modelado en rocas sedimentarias-volcánicas y disectado por el río Sama y numerosas quebradas.

Sección Geológica R9 - R9'

Esta sección de 45,10 km de longitud, con rumbo NO-SE, se extiende aproximadamente desde el sector del Río Sama hasta la quebrada Hormune. La línea de sección geológica se desarrolla sobre terrenos de relieve moderado a escarpado, con alturas que van desde los 2000 hasta los 3800 msnm, modelado en rocas sedimentarias-volcánicas.

Sección Geológica R10 - R10'

Esta sección geológica de 73 km de longitud y rumbo SO-NE, ha sido elaborada e interpretada con información procedente del mapeo geológico de superficie. Se extiende desde la quebrada Hospicio/ Viñani, (vertiente del Pacífico) hasta el cerro Condorpico (vertiente del Lago Poopo-Bolivia).

2.2.5. Análisis geológico estructural

El área se encuentra sobre el sistema de fallas regionales Calientes e Incapuquio de dirección andina NO-SE, y se identifica por una serie de lineamientos regionales predominantes de dirección andina que se extienden desde la ladera oeste de la cordillera hasta las pampas costaneras de Tacna.

Sistema de Fallas Incapuquio (SFI)

El Sistema de Fallas Incapuquio (SFI) fue estudiado y planteado como un conjunto de fallas transpresionales, que a su vez, incluyen estructuras en flor (Jacay et al, 2002). A escala regional, Monge & Cervantes (2000) elaboraron un mapa actualizado de Pachía (36v) y Palca (36x) con nuevas observaciones en la correlación de las unidades mesozoicas; tres años más tarde; Pino (2003), de acuerdo a sus observaciones de campo, considera que el SFI ya estaba activo durante la formación de la cuenca marginal, la cual profundizaba hacia el suroeste, y la evidencia de una serie de fallas sinsedimentarias, generadas en el Jurásico inferior y medio, concuerda con la orientación del Sistema de Fallas Incapuquio y Challaviento, lo que también sugiere que el SFI estuvo activo durante el rifting.

Falla Challaviento

La falla de Challaviento sale del lado noreste de la falla de Incapuquio, cerca del sitio donde esta última cruza a la quebrada Chero, luego sigue hacia el sureste, paralelamente con la falla de Incapuquio y a una distancia de 3-4 km, al noreste de esta última, sin embargo, la falla de Challaviento se extiende más al sureste que la falla de Incapuquio, tomando en su último tramo un rumbo aproximado de E-O.

Falla Purgatorio

Esta falla fue descrita por Sébrier et al (1985), Audin et al (2006), Benavente y Audin (2009). Se extiende en dirección E-O a lo largo del piedemonte del sur de Perú, entre las regiones de Moquegua y Tacna, exactamente entre la pampa Purgatorio (Moquegua), poblado Mirave (Tacna) y la quebrada Caquilluco (Tacna).

Falla Huacano

Esta falla es de gran importancia, ya que debido a su posición espacial y geometría se cree que es parte del rombo estructural (Pino, 2003; Sempere, et al, 2002), sin embargo tiene una vergencia hacia el SO (Cervantes, 2016, comunicación oral), donde estudios del año 2003 por Martínez & Cervantes (No publicado) evidencian esta falla al oeste del Cerro Machani y está íntimamente relacionada a la cinemática del Sistema de Fallas Incapuquio (SFI) debido a que a través de esta se emplaza la Unidad Milonita.

Falla Cerro Rocosó

Se ubica entre las provincias de Jorge Basadre y Tacna; esta falla fue anteriormente descrita por Fenton et al, (1995) y Noller (1993). Tiene una longitud de 35 km, una dirección preferente N20°O y un buzamiento al noreste.

Falla Palca

Se denomina así a una falla geológica en base a la cercanía con la localidad homónima en el Cuadrángulo de Palca (36x), tiene una dirección NO-SE con buzamiento promedio de 40° hacia el noreste. Esta falla se extiende desde el cerro Pulaca en dirección sureste hasta Guañacahua, y tiene aproximadamente entre 20 y 25 Km de longitud. Las fallas Palca e Incapuquio se entrelazan y forman una serie de escamas que hacen repetir las formaciones Chocolate y Socosani, siendo esta la unidad estratigráfica más afectada.

Falla Chañal

Se ubica entre las provincias de Tarata y Tacna, entre los cerros Huanaco, cerro Negro, cerro Ancocalani y cerro Azangune, tiene una longitud aproximadamente de 48 km, una dirección NO - SE y buzamiento al noreste.

Sistema de Fallas Sama Calientes

El Sistema de Fallas Sama Calientes fue descrito por Macharé et al, (2009), Benavente y Audin (2009), Audin et al, (2008); se ubica en la provincia de Tacna, y se extiende desde el flanco sur del cerro Chapolla hasta la sierra Huaylillas en el límite fronterizo Perú-Chile.

Falla Rosarino

Esta falla es del tipo inversa con buzamientos entre 40° y 50° hacia el suroeste. Tiene dirección NO-SE atraviesa lateralmente la quebrada Caplina y hacia el sureste es apreciable en las quebradas Yangani y Vilavilani; en todo su tramo presenta cierta curvatura semicircular. Esta Falla ha provocado que las rocas intrusivas de la Super Unidad Yarabamba cabalguen sobre los volcánicos del Grupo Toquepala. Es una Falla inactiva que en varios sectores se encuentra cubierta por depósitos de ignimbritas procedentes del arco volcánico Huaylillas.

Falla las Peñas

Es una falla inversa, asociada a la falla Calientes, por el sector de la quebrada Cobani, en el cuadrángulo de Pachia 36v2-SE, presenta una dirección NO-SE, con un rumbo 178/87°SO, donde se entrelaza con fallas normales con dirección NE-SO.

Falla Irane

Falla de tipo inversa, tiene su origen en la falla Rosarine y cruza en forma transversal a las quebradas Vilavilane, Yungane y Challapujo, tiene buzamientos con direcciones tanto al noreste como suroeste. En el sector de la Hacienda, la quebrada Yungane es captada por la falla y toma la dirección de esta, hasta la confluencia con la quebrada Vilavilani. Afecta a las rocas volcánicas de las formaciones de Samanape y Huaylillas y el Intrusivo Yarabamba.

Sistema de fallas de la cordillera de la Costa

Es una cadena montañosa que tiene una dirección NO-SE, su elevación varía entre los 900 a 1200 msnm. Se presenta segmentada a lo largo y próximo al litoral. En esta unidad morfoestructural afloran mayormente rocas volcanosedimentarias e intrusivas del Cretáceo inferior. Además, se observan terrazas marinas cuaternarias, que son evidencias del levantamiento andino reciente.

Falla Miraflores

Se extiende con dirección NO-SE pasando por el cerro Los Pabellones, en la ladera sur de los cerros Miraflores y Siete Colores. Esta Falla inversa o de sobre escurrimiento, hace repetir algunas secuencias volcánicas y sedimentarias de la Formación Chocolate.

Falla Los Molles - Magollo

Definida como una falla normal con orientación N145°, que afecta principalmente a las unidades Moquegua, Huaylillas y Millo, pues permite la subsidencia de estas unidades al SO de la falla. Se pudo validar esta falla con la geofísica TDEM-2022, secciones geoelectricas LE-02, LE-03 Y L3-04.

Lineamientos NE-SO

En el sector de la pampa costanera, este sistema de lineamientos se hace más evidente y adquiere especial importancia debido a que paralelo a su dirección surgen numerosos accidentes topográficos que forman valles y quebradas, además de marcar el fin de los afloramientos.

Lineamiento Los Pabellones – Magollo

Observable en imagen satelital, se extiende desde el límite de Faja de Litoral hacia la quebrada Magollo con dirección NE-SO, Este lineamiento en el cerro Pabellones se encuentra en rocas volcánicas de la formación Chocolate, extendiéndose hacia el NE y limitando la superficie Huaylillas y la planicie costera, antes de ingresar a la superficie Huaylillas propiamente dicha en el cerro Magollo. El desplazamiento se validó con la geofísica método geoelectrico TDEM-2022.

Lineamiento Caplina

Se extiende desde la costa peruana hasta la Cordillera Occidental, encontrándose en el curso principal del río Caplina. Estudios de geofísica realizados en pampas de La Yarada,

ponen en manifiesto la existencia en subsuelo de una serie de fallas a las que se determina como normales subverticales, que se extienden a lo largo de toda la quebrada de los ríos Caplina, Cauñani y Escritos.

Lineamiento Uchusuma

El lineamiento Uchusuma está ubicado a lo largo del río Uchusuma y el canal de Uchusuma, con una dirección NE-SO. Se manifiesta al igual que en Caplina, Palca y Cruz de Pallagua, por la presencia de deslizamientos a ambos lados de la quebrada Uchusuma, generándose con esto una zona más amplia diferente a las vistas en el recorrido del río.

Lineamiento Cobani

Ubicado a lo largo de la quebrada Cobani se pudo observar evidencias de fallas de movimiento normal. Por el sector de la quebrada Cobani, el cerro El Mal Paso, se observaron fallas normales con rumbo de 210° con un buzamiento de 36° NO, atravesando sienogranitos de la Super Unidad Yarabamba y cuerpos monzodioríticos no diferenciados.

Zona de fallas del Barroso (Arco volcánico)

El arco volcánico Cuaternario forma parte de la Cordillera Occidental se encuentra ubicado en las cotas 4200 a 5700 msnm, abarca los países de Perú, Bolivia y Chile, en el Perú, este gran sistema de fallas tiene una longitud -36 km, abarca los departamentos de Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna; se prolonga desde el volcán Coropuna (Arequipa), hasta el límite fronterizo con Bolivia y Chile. Benavente Escobar et al, (2017) describen fallas del arco volcánico en los departamentos de Arequipa y Moquegua, respectivamente.

Pliegues

En el norte del cuadrángulo de Pachía, la falla de Incapuquio está asociada con el sinclinal de Carane al NE y el anticlinal de Añache al SO. Los dos pliegues tienen más o menos las mismas características. Los ejes forman un ángulo de 20° - 30° con la falla, las capas más paradas se encuentran cerca a la falla, y el plegamiento está restringido a sus alrededores.

2.3 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

La clasificación hidrogeológica regional de cada una de las formaciones geológicas que afloran en el área de estudio, se ha realizado tomando en cuenta la geomorfología y la geología como medios de circulación, la permeabilidad de los materiales, la descarga naturales y artificiales (manantiales, pozos, sondeos, etc.).

Desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico, las rocas se clasifican en:

- **Acuíferos**, rocas que almacenan y transmiten agua en cantidades significativas.
- **Acuitardos**, rocas que almacenan agua y la transmiten lentamente.
- **Acuicludos**, rocas con una capacidad de almacenamiento apreciable, pero con capacidad de transmisión prácticamente nula.
- **Acuífugos**, rocas que ni almacenan ni transmiten agua.

Según la caracterización hidrogeológica del área de estudio se ha podido diferenciar las siguientes unidades:

ETIQUETA	UNIDAD	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (cm/s)	CALIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA
Qh-fl	Depósito fluvial	1×10^{-1} - 1×10^1	Muy Permeable	Acuífero Excelente
Qh-eo	Depósito eólico	1×10^{-3} - 1×10^{-1}	Permeable	Acuífero Regular a Bueno
Qh-bo	Depósito bofedal	1×10^{-5} - 1×10^{-3}	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Qh-di	Depósito diluvial	1×10^{-3} - 1×10^{-2}	Permeable	Acuífero Regular a Bueno
Qh-el	Depósito eluvial	1×10^{-7} - 1×10^{-3}	Poco Permeable a algo permeable	Acuitardo a Acuífero pobre
Qh-cd	Depósito Coluvio-deluvial	1×10^{-5} - 1×10^{-1}	Algo permeable a permable	Acuitardo a Acuífero pobre
Qh-pro1	Depósito proluvial	1×10^{-5} - 1×10^{-3}	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Qh-pro	Depósito proluvial	1×10^{-5} - 1×10^{-3}	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Qh-al3	Depósito aluvial3	1×10^{-1} - 1×10^1	Muy Permeable	Acuífero Excelente
Qh-al2	Depósito aluvial2	1×10^{-1} - 1×10^0	Permeable	Acuífero Regular a Bueno
Qh-al1	Depósito aluvial1	1×10^{-1} - 1×10^0	Permeable	Acuífero Regular a Bueno

ETIQUETA	UNIDAD	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (cm/s)	CALIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA
Qh-al	Depósito aluvial	1×10^{-1} - 1×10^0	Permeable	Acuífero Regular a Bueno
Qh-glff	Depósito glaciar, fluvial	1×10^{-5} - 1×10^{-1}	Algo Permeable a Permeable	Acuífero Pobre a Regular
Qh-ye	Depósito de Yeso	1×10^{-7} - 1×10^{-5}	Poco Permeable	Acuitardo
Qh-pl1	Depósito de playa	1×10^{-3} - 1×10^{-1}	Permeable	Acuífero Regular a Bueno
Qh-pl	Depósito de playa	1×10^{-3} - 1×10^{-1}	Permeable	Acuífero Regular a Bueno
Qpl-al3	Depósito aluvial3	1×10^{-1} - 1×10^0	Permeable	Acuífero Regular a Bueno
Qpl-al2	Depósito aluvial2	1×10^{-1} - 1×10^0	Permeable	Acuífero Regular a Bueno
Qpl-al1	Depósito aluvial1	1×10^{-1} - 1×10^0	Permeable	Acuífero Regular a Bueno
Qpl-pro	Depósito proluvial	1×10^{-5} - 1×10^{-2}	Poco Permeable a Algo Permeable	Acuitardo a Acuífero pobre
Qpl_vpu	Volcánico Purupuruni	1×10^{-7} - 1×10^{-5}	Poco permeable	Acuitardo
Qpl_vpu	Volcánico Purupuruni	1×10^{-5} - 1×10^{-3} (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Qpl-mo	Depósito de morrena	1×10^{-5} - 1×10^{-3}	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Qpl_ma	Depósito marino	1×10^{-5} - 1×10^{-1}	Algo Permeable a Permeable	Acuífero Pobre a Regular
Qpl-cólaps	Depósito de colapso	1×10^{-5} - 1×10^{-4}	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Qpl-ce	Depósito volcánico - ceniza	1×10^{-7} - 1×10^{-5}	Poco Permeable	Acuitardo
Np-cglar	Depósito aluvial pliocénico	1×10^{-5} - 1×10^{-3}	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Np-mi	Formación Millo	1×10^{-3} - 1×10^{-2}	Permeable	Acuífero Regular a bueno
Np-ca	Formación Capillune	1×10^{-3} - 1×10^{-2}	Permeable	Acuífero Regular a bueno
Np-se	Formación Sencca	1×10^{-7} - 1×10^{-5}	Poco Permeable	Acuitardo
Nm-ma	Grupo Maure	1×10^{-3} - 1×10^{-2}	Permeable	Acuífero Regular a bueno
Nm-hu_s	Formación Huayillas - Miembro Superior	1×10^{-7} - 1×10^{-5}	Poco permeable	Acuitardo
Nm-hu_s	Formación Huayillas - Miembro Superior	1×10^{-5} - 1×10^{-3}	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Nm-hu_i	Formación Huayillas - Miembro Inferior	1×10^{-7} - 1×10^{-5}	Poco permeable	Acuitardo
Nm-hu_i	Formación Huayillas - Miembro Inferior	1×10^{-5} - 1×10^{-3} (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Nm-hl	Grupo Tacaza - Formación Hullacollo	1×10^{-7} - 1×10^{-5}	Poco permeable	Acuitardo
Nm-hl	Grupo Tacaza - Formación Hullacollo	1×10^{-5} - 1×10^{-3} (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Po-mo_s	Formación Moquegua - Miembro Superior	1×10^{-7} - 1×10^{-5}	Poco Permeable	Acuitardo
Po-mo_s	Formación Moquegua - Miembro Superior	1×10^{-5} - 1×10^{-3} (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Pp-mo_i	Formación Moquegua - Miembro Inferior	1×10^{-5} - 1×10^{-7}	Impermeable	Acuicludo
P-ta_s	Formación Tarata superior	1×10^{-7} - 1×10^{-5}	Poco Permeable	Acuitardo
P-ta_s	Formación Tarata superior	1×10^{-5} - 1×10^{-3} (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre

ETIQUETA	UNIDAD	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (cm/s)	CALIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLOGICA
P-ta_i	Grupo Tacaza - Formación Tarata - Miembro Inferior	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁶	Poco Permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Pp-so	Formación Sotillo	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
KsP-sa	Formación Quellaveco - Miembro Samanape	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
Ks-pa/tb	Grupo Toquepala - Formación Paralaque	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Ki-ma	Grupo Toquepala - Formación Matalaque	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Ki-hu	Grupo Yura - Formación Hualhuani	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco Permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Js-g	Grupo Yura - Formación Gramadal	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco Permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Js-la	Grupo Yura - Formación Labra	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Jms-pu.ca	Grupo Yura - Formación Puente, Cachios	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Jm-ca	Grupo Yura - Formación Cachios	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Jm-p	Grupo Yura - Formación Puente	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Jm-so	Formación Socosani	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Ji-pe	Formación Pelado	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Ji-cho	Formación Chocolate	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco Permeable	Acuitado
D-ca	Grupo Cabanillas	1x10 ⁻⁹ -1x10 ⁻⁵	Impermeable a poco permeable	Acuífido a acuitado
PPE-gn/le	Complejo Basal de la Costagneis, esquisto	1x10 ⁻⁹ -1x10 ⁻⁷	Impermeable	Acuífido
		1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵ (*)	Poco Permeable	Acuitado
ah	Alteración hidrotermal	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁶	Poco Permeable	Acuitado
NQ-b/and	Grupo Barroso - andesita	1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
		1x10 ⁻³ -1x10 ⁻¹ (*)	Permeable	Acuífero Regular
NQ-b-andp	Grupo Barroso - andesita porfídica	1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
		1x10 ⁻³ -1x10 ⁻¹ (*)	Permeable	Acuífero Regular
NQ-ctbE4	Complejo Fisural Barroso - Evento 4	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo permeable	Acuífero Pobre
NQ-ctbE3		1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado

ETIQUETA	UNIDAD	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (cm/s)	CALIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLOGICA
	Complejo fisural barroso - andesita porfídica	1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
NQ-frE2	Centro Volcánico El Fraile - Evento 2	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
NQ-frE1	Centro Volcánico El Fraile - Evento 1	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
PN-pda	Porfido riocaticico	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
PN-gd	Granodiorita	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Pe-bch-gd,sgf	Batolito Challaviento - Granodiorita, Sienogranito	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
Pp-3-cdi,tn	Cuarzodiorita-tonalita	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
KsP-bcyl-mgr,gd	Batolito de la Costa - Unidad Yarabamba - monzogranito, granodiorita	1x10 ⁻⁹ -1x10 ⁻⁷	Impermeable	Acuífido
		1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
KsP-bcyl-gd	Batolito de la Costa - Unidad Yarabamba - granodiorita	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
KsP-bcyl-gd,di	Batolito de la Costa - Unidad Yarabamba - granodiorita, diorita	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
KsP-bcyl-mgr	Batolito de la Costa - Unidad Yarabamba - monzogrit	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
KsP-bcyl-sgf	Batolito de la Costa - Unidad Yarabamba - sienogrit	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
KsP-bcyl-mz	Batolito de la Costa - Unidad Yarabamba - monzoni*	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
KsP-mz/di	Monzonita Diorita	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
KP-mit	Milonita	1x10 ⁻⁹ -1x10 ⁻⁷	Impermeable	Acuífido
		1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
Ki-i1-di,gd	Superunidad Ilo	1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado
		1x10 ⁻⁵ -1x10 ⁻³ (*)	Algo Permeable	Acuífero Pobre
DC-gr	Granito	1x10 ⁻⁹ -1x10 ⁻⁷	Impermeable	Acuífido
		1x10 ⁻⁷ -1x10 ⁻⁵	Poco permeable	Acuitado

Interpretación del modelo geológico

La formación del valle del Caplina y quebradas anexas se inició después de la acumulación de la Formación Huaylillas. Las Formaciones Moquegua y Huaylillas sufrieron profundas incisiones, reflejando a la vez procesos tectónicos ligados al levantamiento de los Andes y procesos climáticos extremos de intensas precipitaciones pluviales “Crisis Climáticas”, continuando con una etapa de relleno y/o deposición del valle Caplina, que consiste esencialmente de conglomerados fluviales en forma de “Debris Flow”, que conforman la unidad Conglomerados y Areniscas del Plioceno (Np-cgl/ar), y posteriormente por depósitos de ceniza y depósitos no consolidados del Cuaternario. Los conglomerados de la Unidad Magollo afloran como terrazas colgadas que descansan sobre la superficie plana de la formación Huaylillas, estos se depositaron durante la etapa temprana de la incisión del valle de Caplina.

La cubeta formada en la zona de La Yarada, ha favorecido a la acumulación de abundante material detrítico con buenas características hidrogeológicas durante del Plioceno al Cuaternario, y a su vez se ha almacenado importantes reservas de agua, en la zona del depocentro valle Caplina, con espesores mayores a 600 m, tal como se evidencia en la perforación P-32-Expl de 546 m de profundidad, ejecutado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) el año 2019.

El origen de las aguas subterráneas del acuífero Caplina en la zona de la Yarada, se inicia en la zona de recarga de la Cordillera de los Andes y el Flanco Disectado, mediante las precipitaciones pluviales que ocurren en la parte alta de la cuenca, discurriendo de forma superficial, sub superficial a través de los ríos y quebradas, un porcentaje se evapora y un menor porcentaje se infiltra a través de las múltiples fracturas de la roca. El intenso tectonismo del pasado han generado la ocurrencia de múltiples fallas como el Sistema de Fallas Incapuquio, Challaviento, El Chañal, Calientes Sama, Lineamiento Caplina y demás fallas secundarias principalmente de dirección NO-SE y N-S, siendo estas favorables para la infiltración y flujo de agua subterránea.

El flujo de agua subterránea al acuífero Caplina es lento y puede tardar miles de años en llegar a la zona de almacenamiento y discurre en diferentes niveles de profundidad, y cuyo mecanismo de circulación es a través de los depósitos detríticos aluviales en superficie y en profundidad por las rocas fisuradas de las diferentes formaciones geológicas desde el Cuaternario al Jurásico, por permeabilidad secundaria.

2.3.1 Hidráulica subterránea

2.3.1.1 Parámetros hidráulicos

El acuífero Caplina ha sido evaluado en base a las pruebas de bombeo, ya que se considera que es el método más completo y fiable para el cálculo de los parámetros hidrogeológicos. Las pruebas de bombeo fueron ejecutadas a caudal constante y se hizo la medición de los descensos y recuperación del nivel de agua en cada pozo y en los pozos de observación. En la Tabla N. 2 se presentan los parámetros hidráulicos de las pruebas de bombeo analizadas.

Tabla N. 2 Parámetros hidráulicos

N°	Pozo	Tipo de Ensayo	Fecha de Ensayo	Nivel Estático (m)	Caudal (m³/s)	Hora Inicial (hh:mm:ss)	Rend. Específico (L/s/m)	Diámetro Pozo (m)	T (m/d)	Espeesor Satur. (m)	K (m/d)	S
1	IRHS 04	Recuperación	18/03/2022	2.44	0.0078	13:48:00	2.15	0.11	1121.6	8.00	108.2	-
		Descenso	25/03/2022	24.77	0.0174	10:48:00	0.9	5.5	49.88	29.23	171.0	-
2	IRHS 225	Recuperación	25/03/2022	24.77	0.0174	17:03:00	-	2.4	114.3	29.23	3.91	-
		Descenso	21/03/2022	67.75	0.0118	07:20:00	0.24	1.8	103.56	62.25	1.66	-
3	IRHS 444	Recuperación	21/03/2022	67.75	0.0118	16:20:00	-	2.4	74.57	62.25	1.20	-
		Descenso	18/03/2022	4.56	0.0289	06:45:00	-	0.12	2059.4	4.37	471.6	-
4	IRHS 215	Recuperación	18/03/2022	4.56	0.0289	09:45:00	-	0.12	706.08	4.37	161.5	-
		Descenso	22/03/2022	31.1	0.03	23:32:00	3.55	4.5	105.41	19.01	5.55	-
5	IRHS 608	Recuperación	22/03/2022	31.1	0.03	13:10:00	-	1.05	451.75	19.01	23.77	-
		Recuperación	24/03/2022	44.57	0.03	08:16:00	-	7.8	60.81	75.45	0.81	-
7	IRHS 10	Descenso	30/03/2022	31.88	0.0509	07:30:00	3.8	1.6	502.99	78.12	6.44	-
		Recuperación	30/03/2022	31.88	0.0509	12:30:00	-	1.8	447.11	78.12	5.72	-
8	IRHS 123	Descenso	1/04/2022	75.7	0.0117	07:40:00	5.82	0.14	1321.3	24.30	54.38	-
		Recuperación	1/04/2022	75.7	0.0117	12:40:00	-	0.16	1156.1	24.30	47.58	-
9	IRHS 253	Recuperación	29/03/2022	7.34	0.0037	11:50:00	7.25	0.17	345.99	1.76	198.5	-
		Recuperación	1/04/2022	2.38	0.0008	08:41:00	-	0.29	42.53	1.16	36.82	-
10	IRHS 467	Descenso	28/03/2022	54.87	0.0139	00:10:00	2.7	0.5	440.18	46.13	9.54	-
		Recuperación	28/03/2022	54.87	0.0139	16:54:00	-	0.4	550.23	46.13	11.93	-
12	IRHS 228	Descenso	30/03/2022	53.31	0.0182	05:58:00	-	0.8	359.7	94.69	3.80	-
		Recuperación	30/03/2022	53.31	0.0182	08:54:00	-	0.9	224.87	94.69	2.37	-
13	IRHS 101	Descenso	3/04/2022	78.78	0.032	23:31:00	0.94	3	168.65	71.22	2.37	-
		Recuperación	3/04/2022	78.78	0.032	17:58:00	-	6.5	77.84	71.22	1.09	-
14	IRHS 149	Descenso	6/04/2022	44.126	0.0077	08:00:00	0.59	0.4	302.39	40.87	7.40	-
		Recuperación	6/04/2022	44.126	0.0077	13:00:00	-	1.2	100.8	40.87	2.47	-
15	IRHS SC	Descenso	7/04/2022	44.01	0.028	07:30:00	1.12	2.4	184.46	130.99	1.41	-
		Recuperación	7/04/2022	44.01	0.028	13:00:00	-	3	147.57	130.99	1.13	-
16	IRHS 155	Descenso	8/04/2022	27.68	0.05	03:00:00	1.31	1	790.56	92.32	8.56	-
		Recuperación	8/04/2022	27.68	0.05	16:30:00	-	13	60.81	92.32	0.66	-
17	IRHS 627	Recuperación	5/04/2022	56.92	0.037	17:21:00	4.74	1.7	346.08	40.08	8.63	-
		Recuperación	8/04/2022	10.045	0.003	12:02:00	-	0.05	942.35	2.52	374.6	-
19	IRHS 521	Recuperación	12/04/2022	83.3	0.02725	17:30:00	1.09	0.8	538.57	46.71	11.53	-
		Descenso	13/04/2022	2.22	0.00695	08:30:00	-	0.23	477.77	2.78	171.8	-
20	IRHS 16	Recuperación	13/04/2022	2.22	0.00695	11:30:00	-	0.23	392.46	2.78	141.1	-
		Descenso	11/04/2022	53.47	0.0407	07:28:00	14.28	0.15	4309.0	27.53	156.5	-
21	IRHS 59	Recuperación	11/04/2022	53.47	0.0407	14:57:00	-	0.11	5878.0	27.53	213.4	-
		Descenso	12/04/2022	52.27	0.02894	06:14:00	1	3.83	457.58	31.73	14.42	-
22	IRHS 709	Descenso	3/09/2022	89.68	23.330	07:30:00	0.68	0.2	260	30.32	8.58	-
		Recuperación	5/09/2022	89.68	07:30:00	11:30:00	-	0.2	192	30.32	6.33	-
24	IRHS 322	Descenso	3/09/2022	76.66	23.200	17:15:00	1.93	0.2	700	43.34	16.2	-
		Recuperación	5/09/2022	76.66	17:15:00	05:45:00	-	0.2	1590	43.34	36.7	-
25	IRHS 58	Descenso	28/08/2022	41.64	00:00:00	16:00:00	4.81	0.2	773	33.36	23.2	-
		Recuperación	28/08/2022	41.64	16:00:00	07:12:00	-	0.2	687	33.36	20.6	-
26	IRHS 249	Descenso	27/08/2022	19.75	23.290	17:38:00	23.1	0.25	5140	30.25	170	-
		Recuperación	29/08/2022	19.75	17:38:00	23:00:00	-	0.25	435	30.25	14.4	-
27	IRHS 131	Descenso	28/08/2022	71.4	00:32:00	17:32:00	6.48	0.16	848	48.6	17.4	0.015
		Recuperación	29/08/2022	71.4	17:32:00	19:32:00	-	0.16	1330	48.6	27.4	-
28	IRHS 120	Recuperación	14/08/2022	86.1	17:35:00	19:50:00	5.21	0.2	1100	63.39	17.4	-
		Descenso	20/08/2022	68.65	11:35:00	05:35:00	7.05	0.2	760	51.35	14.8	0.008
29	IRHS 147	Recuperación	22/08/2022	68.65	05:35:00	10:30:00	-	0.2	697	51.35	13.6	5
		Descenso	20/08/2022	48.59	11:27:00	05:27:00	3.83	0.2	430	31.8	13.5	-
30	IRHS 610	Recuperación	22/08/2022	48.59	05:27:00	10:27:00	-	0.2	807	31.8	25.4	-
		Descenso	7/08/2022	54.64	00:10:00	16:54:00	2.58	0.2	513	46.36	11.1	0.02
31	IRHS 506	Recuperación	8/08/2022	54.64	16:54:00	22:54:00	-	0.2	679	46.36	19	-
		Descenso	10/09/2022	78.06	23:31:00	17:58:00	0.67	0.16	38	71.94	0.53	-
32	IRHS 101	Recuperación	12/09/2022	78.06	17:58:00	20:58:00	-	0.16	38	71.94	0.53	-
		Descenso	10/09/2022	78.54	23:30:00	17:25:00	0.71	0.16	190	71.46	2.66	-
33	IRHS 106	Recuperación	12/09/2022	78.54	17:25:00	22:00:00	-	0.16	50	71.46	0.7	-
		Descenso	12/09/2022	85.66	23:00:00	16:54:00	1.29	0.2	191	64.34	2.97	-
34	IRHS 107	Recuperación	14/09/2022	85.66	16:54:00	21:30:00	-	0.2	87.5	64.34	1.36	-
		Descenso	10/09/2022	69.38	23:47:00	17:35:00	0.46	0.16	144	110.62	1.3	-
35	IRHS 112	Recuperación	12/09/2022	69.38	17:45:00	22:22:00	-	0.16	50	110.62	0.45	-
		Descenso	10/09/2022	91.87	23:40:00	17:40:00	1.68	0.2	100	58.13	1.72	-
36	IRHS 128	Recuperación	12/09/2022	91.87	17:35:00	18:35:00	-	0.2	40	58.13	0.69	-
		Descenso	10/09/2022	95.1	23:34:00	17:30:00	2.39	0.25	170	54.9	3.1	0.001
37	IRHS 122	Recuperación	12/09/2022	95.1	17:30:00	22:30:00	-	0.25	170	54.9	3.1	5
		Descenso	17/09/2022	98.67	23:12:00	11:06:00	7.97	0.25	820	51.33	16	0.001
38	IRHS 121	Recuperación	19/09/2022	98.67	11:06:00	14:06:00	-	0.25	580	51.33	6.04	5

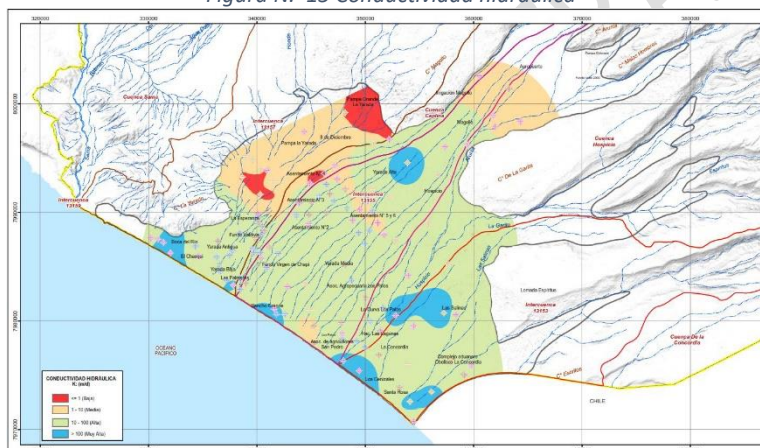
2.3.2 Zonificación hidráulica

La zonificación de los parámetros se ha realizado siguiendo la clasificación de Villanueva e Iglesias (1984).

Conductividad Hidráulica (K)

El mapa de conductividad hidráulica del subsuelo, en el cual se observan que los valores de conductividad hidráulica varían entre 0,53 y 374,7 m/día, asimismo, se han identificado 4 zonas cuyos rangos cuantitativos van de baja a muy alta permeabilidad (Figura 15). La zona de baja permeabilidad (0,58 a 1 m/d) se encuentra en los sectores Pampa Grande La Yarada, Yarada Alta y Asentamiento 4, Las zonas de permeabilidad media (1 a 10 m/d) corresponden a Pampa La Yarada, Asentamiento 8 de diciembre, Asentamiento 5 y 6 y Asociación de Agricultores San Pedro, Las zonas de permeabilidad alta (10 a 100 m/d) y muy alta (100 a 374,7 m/d) representan más del 60% del área de evaluación y están conformados por los sectores cerca de Santa Rosa, La Yarada Alta y Los Palos.

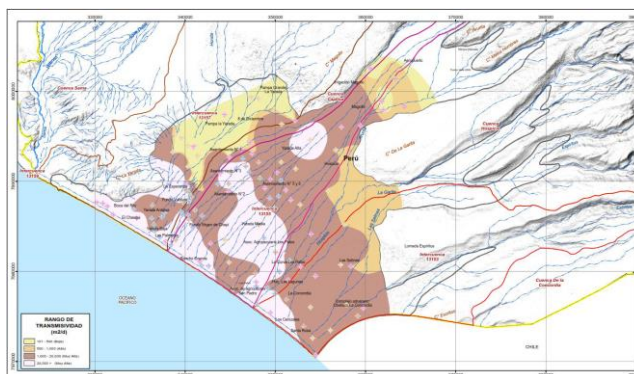
Figura N. 15 Conductividad hidráulica



Transmisividad (T)

Los valores de transmisividad varían entre 78,22 y 269,122,97 m²/día, se han identificado 4 zonas cuyos rangos cualitativos van de baja a muy alta transmisividad (Figura 53). Las zonas de baja transmisividad (0 a 100 m²/día) están ubicadas en el Asentamiento 4, las zonas de transmisividad media (100 a 500 m²/día) se encuentran por los asentamientos 4, 8 de Diciembre y Pampa Grande La Yarada, las zonas de transmisividad alta y muy alta se encuentran en la zona media del valle (Tacna – Magollo) y desde Magollo hasta el litoral costero.

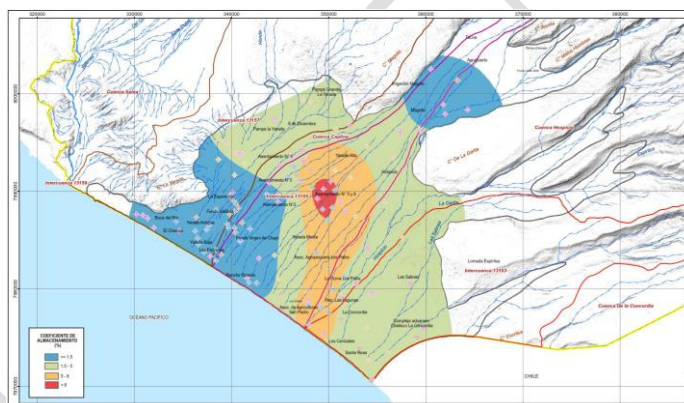
Figura N. 16 Transmisividad (T)



Coefficiente de almacenamiento (S)

Se han identificado 3 zonas diferenciadas; la primera con valores menores a 1,5%, la segunda, en el rango de 1,5 a 5%, el tercero, de 5 a 8%; y el último, de valores mayores a 8% (Figura XX), Los resultados denotan una tendencia al incremento en la orientación noroeste a sureste, desde los sectores colindantes a la ciudad de Tacna hacia el litoral costero.

Figura N. 17 Coeficiente de almacenamiento (S)



2.3.3 Radio de influencia

El radio de Influencia se define como la distancia del pozo al límite del abatimiento de la napa freática, es la zona afectada por el bombeo. El radio de influencia se encuentra en función al tiempo de bombeo, transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. La fórmula utilizada para el cálculo del radio de influencia fue deducida de la ecuación general de Theis-Jacob.

Se ha identificado gráficamente con base en la ubicación de los pozos analizados, que los radios de influencia con menores valores (menor a 100 m) se encuentran en los sectores localizados en las cercanías de los límites del ámbito de evaluación, mientras que los mayores valores (mayor a 500) se encuentran en la zona central del acuífero, Se denota que los radios de influencia producidos tienen una evidente tendencia al incremento conforme se acercan a los sectores centrales del acuífero.

Los radios de influencia de mayor longitud se localizan en los sectores donde se extraen los mayores volúmenes del recurso hídrico subterráneo, compuesto, también, por la mayor densidad de pozos que son utilizados, principalmente, para la agricultura.

2.3.4 Geoquímica, hidroquímica e isotopía

Caracterización hidroquímica

Gráficos Hidroquímicos en la zona I

En el diagrama de Piper en la zona I, existe una mayor densidad de puntos en el rombo izquierdo que denotan aguas cálcica-bicarbonatadas, así como aguas que representan un tipo de mezcla con predominancia del ión sulfato en cinco de las quince muestras.

En el diagrama de Durov en la zona I, se observa que la mayor parte de los puntos muestran aguas de tipo bicarbonatadas y cinco puntos en los cuales las aguas son preferentemente sulfatas (estos cinco puntos se aprecian en el centro del cuadrado central).

En el diagrama de Box and Whisker en la zona I, vemos en el diagrama que los bicarbonatos, seguidos de los sulfatos, tienen los valores más altos y más frecuentes, mientras que para los cationes predominan el calcio y el sodio.

En el diagrama de Stiff en la zona I, se condice con lo mostrado en los diagramas mencionados.

Gráficos Hidroquímicos en la zona II

En el diagrama de Piper en la zona II existe una mayor densidad de puntos en el rombo izquierdo que denotan aguas cálcica-bicarbonatadas y cálcica-bicarbonatadas sulfatadas, así como aguas que representan un tipo de mezcla con predominancia del ión sulfato en cinco de las quince muestras recolectadas.

En el diagrama de Durov en la zona II, se observa el 40% de la carga aniónica corresponde a iones bicarbonato con una contribución importante de iones sulfato, con siete estaciones que, igualmente, muestran una contribución de 40% de la carga aniónica respectiva, Se aprecia también que con la única excepción de dos estaciones que presentan cargas relativamente altas de sodio, cloruros y sulfatos las demás son aguas frescas con elevados contenidos de calcio, magnesio, bicarbonatos y sulfatos.

En el diagrama de Box and Whisker en la zona II, vemos en el diagrama que los bicarbonatos, seguidos de los sulfatos, tienen los valores más altos y más frecuentes, mientras que para los cationes predominan el calcio y el sodio.

En el diagrama de Stiff en la zona II se condice con lo mostrado en los diagramas mencionados.

Gráficos Hidroquímicos en la zona III

Para el caso de los puntos de monitoreo de la zona III, observamos en el diagrama de Piper respectivo una mayor densidad de puntos en el rombo superior. Este hecho indica que estos puntos se tratan principalmente de aguas cálcicas-sulfatadas, Los demás

puntos, dispersos, en la zona central del diagrama corresponden a zonas en las que ocurren procesos de mezcla o disolución de depósitos de evaporitas.

En el diagrama de Durov en la zona III, se observa el 70% de la carga aniónica corresponde a iones sulfatos con una contribución importante de iones bicarbonato con el 15% de la carga aniónica, así como de 15% de iones cloruro del total de puntos monitoreados.

En el diagrama de Box and Whisker en la zona III, vemos en el diagrama que los sulfatos tienen los valores más altos y más frecuentes, mientras que para los cationes predominan el calcio y el sodio

En el diagrama de Stiff en la zona III, se condice con lo mostrado en los diagramas mencionados.

Gráficos Hidroquímicos en la zona IV

El diagrama de Piper en la zona IV muestra dos zonas principales, los que corresponden a los tipos principales de aguas: cálcicas sulfatadas y sódicas cloruradas, respectivamente, La zona de mezcla entre los dos tipos principales de aguas y responderían al proceso de mezcla entre las aguas subterráneas frescas y las aguas de intrusión marina,

El Diagrama de Evolución de Facies Hidroquímicas en la zona IV, ilustra el proceso de salinización de las aguas subterráneas como resultado de la intrusión salina en un acuífero costero, como el acuífero Caplina.

El diagrama de Durov en la zona IV, pone en evidencia el carácter sódico-clorurado-sulfatados de las aguas subterráneas, mostrando una mayor densidad de puntos en el sector superior izquierdo del recuadro central. La línea diagonal del cuadrado central corresponde al límite de la zona de mezcla. Al igual que en el diagrama de evolución de facies químicas la isolínea de mezcla demarca la zona superior izquierda como la correspondiente a aguas frescas mientras que la zona inferior derecha corresponde a aguas cloruradas que son el reflejo del proceso de intrusión de agua de mar hacia el interior del acuífero Caplina.

En el diagrama de Box and Whisker en la zona IV, vemos que los sulfatos junto con los cloruros son los aniones más frecuentes

El diagrama de Stiff en la zona IV, se condice con lo mostrado en los diagramas mencionados.

Gráficos Hidroquímicos en la zona V

El diagrama de Piper en la zona V, existe una mayor densidad de puntos en el rombo derecho que denotan aguas sódico-cloruradas, así como aguas que representan un tipo de mezcla con predominancia del ión sulfato. Asimismo, la tendencia a presentar muy significativamente elevadas concentraciones de sodio y cloruros.

El diagrama de Durov en la zona V, los puntos se encuentran marcadamente, sobre el sector superior derecho del recuadro central, revelando la mezcla con aguas con alto contenido de sodio y cloruros.

El diagrama de Box and Whisker en la zona V, muestra que los cloruros, seguidos de los sulfatos, tienen los valores más altos y más frecuentes, que para los cationes predominan el calcio y el sodio tanto para la época de avenida como para la época de estiaje.

El diagrama de Stiff en la zona V, se condice con lo mostrado en los diagramas mencionados.

Gráficos Hidroquímicos en la zona VI

El diagrama de Piper en la zona VI, muestra una zona entre el rombo superior y el rombo derecho donde se estaría dando un proceso de mezcla entre aguas de tipo Ca-SO₄ y aguas de tipo Na-Cl, con proporciones variables entre cloruros y sulfatos que se darían durante este proceso de mezcla.

El diagrama de Durov en la zona VI, muestran sus resultados en la esquina inferior del cuadrante revelando que se tratan de aguas principalmente sódicas-cloruradas con un aporte significativo de iones sulfatos (proceso de mezcla).

El diagrama de Box and Whisker en la zona VI, vemos en el diagrama que los cloruros, seguidos de los sulfatos, tienen los valores más altos y más frecuentes, mientras que para los cationes predominan el calcio y el sodio.

El diagrama de Stiff en la zona VI, se condice con lo mostrado en los diagramas mencionados.

Gráficos Hidroquímicos en la zona VII

El diagrama de Piper en la zona VII, muestra una zona entre el rombo superior y el rombo derecho donde se estaría dando un proceso de mezcla entre aguas de tipo Ca-SO₄ y aguas de tipo Na-Cl, con proporciones variables entre cloruros y sulfatos que se darían durante este proceso de mezcla. Ello da lugar a que los puntos aparezcan dispersos sobre el diamante central, pero con una predominancia de iones cloruro en la mitad de los casos.

El diagrama de Durov en la zona VII, se encuentran dispersos en el cuadrante central mostrando mayor predominio de los cationes calcio, sodio y potasio, así como de los aniones sulfatos. Asimismo, es importante señalar los altos grados de mineralización de las aguas en esta zona que se expresa por los elevados valores de conductancia específica.

El diagrama de Box and Whisker en la zona VII, vemos en el diagrama que los cloruros, seguidos de los sulfatos, tienen los valores más altos y más frecuentes, mientras que para los cationes predominan el calcio y el sodio.

El diagrama de Stiff en la zona VII, se condice con lo mostrado en los diagramas mencionados.

Caracterización hidroquímica

Se conoce como antecedente en la cuenca Caplina los estudios realizados por el INGEMMET y publicados en su Boletín N°1, serie H de hidrogeología (INGEMMET, 2009) y que se ocupa justamente, entre otros aspectos, de analizar las composiciones isotópicas. Estos resultados mostrados en la Tabla 42 evidencian que tanto el río Caplina en la zona del Magollo y el pozo IRHS-024 tienen composiciones isotópicas muy similares

lo que evidenciaría que en el caso de este pozo la recarga provendría de la infiltración del río Caplina a través de la falla Sama-Calientes.

Tabla N. 3 Composición isotópica de muestras de agua en la cuenca Caplina

Cuenca	Lugar de Muestreo	Muestra	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) SMOW	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB)	$\delta^{34}\text{S}$ (CDT ‰)
Río Caplina	Manantial de agua termal-Calientes	1	-8.2	Bajo gas	
	Pozo IRHS-024, La Esperanza- La Yarada	2	-12.8	-11	2.8
	2 replicados				2.9
	Río Caplina		-12.9	Sin muestra	0.6
	6 opak				0.6

Desde el punto de vista de la hidrogeología regional, las direcciones de escurrimiento del flujo subterráneo tienen controles estructurales que guardan relación con un lineamiento de dirección noreste suroeste a lo largo de todo el río Caplina y la falla inversa de dirección noroeste sureste controla parte del comportamiento de las aguas subterráneas (Boletín hidrogeológico N°1, Serie H). En el primer caso, el descenso considerable de caudal del río Caplina que baja por el mismo lineamiento, interpretamos que tiene conexión subterránea, convirtiéndose en la zona de alimentación y recarga del acuífero. Vemos valores muy similares en composición isotópica de ^{18}O en el Pozo IRHS-024 ($\delta^{18}\text{O}$ ‰ = -12,8) y el río Caplina ($\delta^{18}\text{O}$ ‰ = -12,9), lo que confirmaría la ocurrencia de una conexión entre las aguas superficiales del río Caplina y las aguas subterráneas en el pozo IRHS-024.

Esta falla que es perpendicular a las quebradas Uchusuma, Cobani y Viñani, controla también la surgencia de otros manantiales dentro de cada una de estas quebradas, aunque los caudales son menores (entre 0,5 y 1 litros por segundo). Además, se utiliza para el abastecimiento de agua para consumo humano y riego entre los pobladores y agricultores locales.

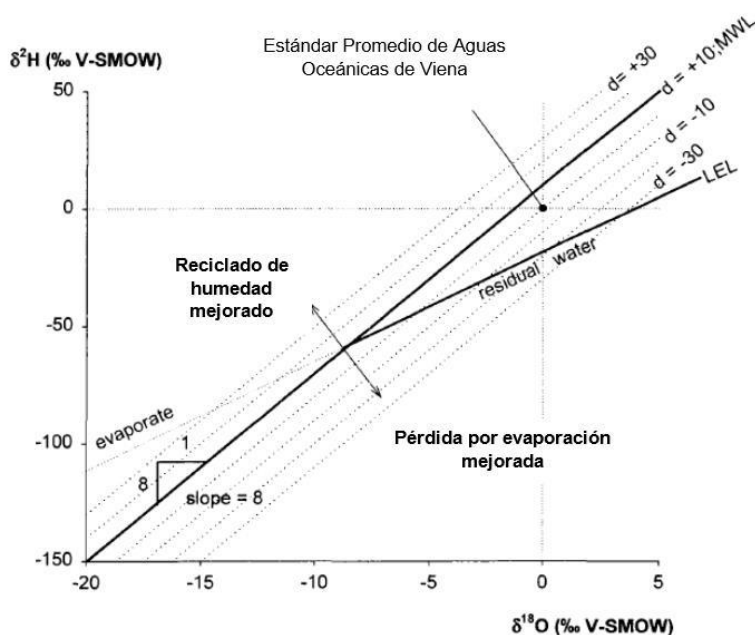
En el plano HQ-H-7 Mapa de distribución de Isotopos Ambientales de la zona IV (Apéndice II), muestra el plano de la parte baja de las cuencas Caplina, Intercuenca 13155, Intercuenca 13157, Cuenca Hospicio e Intercuenca 13153. El punto AS-02, correspondiente a aguas superficiales de la quebrada Arunta y ubicado en la Intercuenca 13155 ($\delta^{18}\text{O}$ ‰ = -13,35) tendría conexión hidrológica con el pozo PP-IRHS-678 ($\delta^{18}\text{O}$ ‰ = -13,17).

El exceso de deuterio (d) se calcula a partir de la siguiente relación que se obtiene de la ecuación de la recta meteórica global, tal como se muestra en la Figura 18.

$$d = \delta D - 8\delta^{18}\text{O}$$

En época de estiaje se tomaron veinte muestras de aguas subterráneas para el análisis de isótopos de ^{34}S , ^{17}Cl y Tritio, respectivamente.

Figura N. 18 La ecuación de la recta meteórica global y los valores de exceso de deuterio



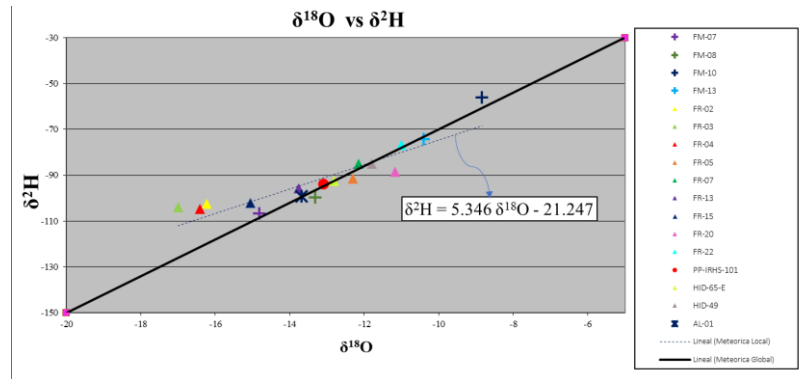
Los resultados del exceso de hidrógeno para las muestras analizadas se presentan junto con los datos de ubicación y altitud, así como valores de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en la Figura 19.

Figura N. 19 Exceso de hidrógeno para las muestras de la zona IV

Código	Coordenadas UTM (Zona 19)			$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	Δ exceso
	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)			
PP-IRHS-192	348499	7975671	17	-11.85	-87.05	7.7535
PP-IRHS-101	346207	7993596	109	-13.10	-93.77	11.0532
PP-IRHS-678	352800	7997635	188	-13.17	-93.74	11.5945
PP-IRHS-727	338963	7995166	97	-6.84	-47.91	6.7943
PP-IRHS-152	356781	7975222	73	-12.23	-88.75	9.0542
PP-IRHS-521	358362	7980585	93	-12.15	-88.47	8.7315
PP-IRHS-48	363744	7977181	135	-9.68	-74.79	2.6117
AS-02	360802	8001156	339	-13.35	-101.69	5.1269
PP-IRHS-301	353002	7972958	24	-12.23	-89.26	8.5448
AS-01	359286	7995557	249	-12.76	-89.68	12.3862
PP-IRHS-215	337827	7983312	16	-11.26	-81.16	8.8994
PP-IRHS-747	355112	7991820	172	-12.70	-92.56	9.0507
PP-IRHS-21	360718	7988996	163	-12.20	-90.70	6.8965
PP-IRHS-142	335233	7985326	21	-10.88	-78.49	8.5201
PP-IRHS-191	342660	7980205	20	-12.69	-91.24	10.2793

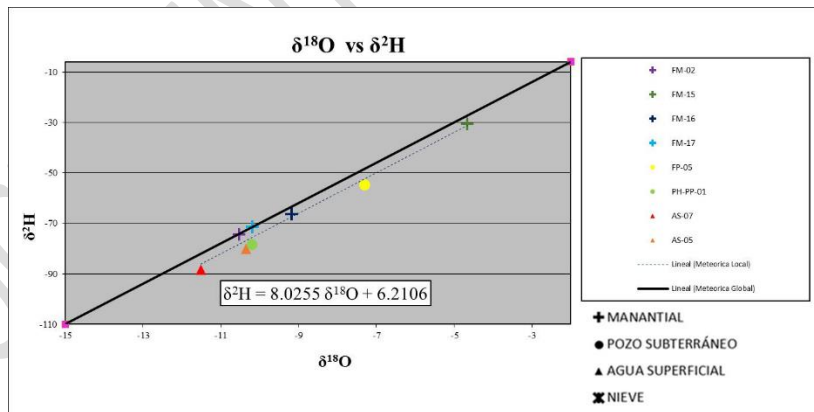
La línea meteórica para la temporada seca en la cuenca Caplina muestra para la composición isotópica una línea meteórica local en cuya parte superior sugiere la ocurrencia de procesos de evaporación en tanto se tratan de aguas superficiales y descargas de manantiales que bien estaría sufriendo procesos de fraccionamiento isotópico (Figura 20).

Figura N. 20 La Línea Meteórica Global (GMWL) y local (LMWL) para los análisis de isótopos obtenidos en la Cuenca Caplina en época de avenida



La línea meteórica local para la cuenca Sama muestra las firmas isotópicas de todos los puntos, a excepción de dos manantiales, en una secuencia aproximadamente paralela a la GMWL, lo que sugiere que no existe aporte de la cuenca Sama a la cuenca Caplina a excepción de los dos manantiales (FM-02 y FM-17) ubicados en la porción alta de la cuenca Sama cerca de la divisoria de aguas con la cuenca Caplina por lo que estos puntos se ubican sobre la GMWL. Por otro lado, la composición isotópica de los puntos en la cuenca Sama, más tendiente a valores positivos (FM-15 y FM-05) se explican por tratarse de aguas que provienen de procesos de condensación en la cuenca del Pacífico a diferencia de los valores más negativos que provendrían de procesos de condensación que provienen del altiplano (Figura 21).

Figura N. 21 La Línea Meteórica Global (GMWL) y local (LMWL) para los análisis de isótopos obtenidos en la Cuenca Sama en época de avenida



2.3.5 Calidad de agua

Al comparar los resultados analíticos con los ECA-1-A2, se aprecia que los parámetros orgánicos como aceites y grasas, DBO5, trihalometanos, tricloroetano, benzo(a)pirenos, tricloroetano, etilbencenos, 1,2 dicloroetano, malation, heptacloro y el heptacloro epóxido. Asimismo, el cianuro libre, DQO, nitrógeno amoniacal, metales totales registran valores por debajo de los ECAs respectivos, con excepción del arsénico, el boro, bacterias coliformes termotolerantes. El arsénico y el boro muestran excedencias del ECA respectivo en las estaciones. Los sulfatos muestran excedencias en las estaciones PP-IRHS-472, PP-IRHS-135 y AS-05. Del mismo modo los cloruros, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos muestran excedencias en las estaciones PP-IRHS-472, PP-IRHS-135 y PM-PP-02. Los nitratos, que son mayormente de origen antropogénico exceden a los ECA respectivo en la estación PP-IRHS-135. El hierro muestra una única excedencia en la estación AS-05.

Al comparar los resultados analíticos con los ECA-3-D1, se aprecia que los parámetros orgánicos como fenoles, PCB, endosulfán, paratión, endrina, aldrina, heptacloro, heptacloro epóxido registran concentraciones por debajo del ECA respectivo, Asimismo, el arsénico, el cobalto, el níquel, el cadmio y el aluminio registran valores por debajo del ECA respectivo, así como los nitratos y nitritos, Por otro lado, ocurren excedencias de cloruros, sulfatos y conductividad eléctrica en las estaciones PP-IRHS-371 y SN-PP-02, mientras que solo ocurren excedencias de cloruros en las estaciones PP-IRHS-37, PP-IRHS-301 y LB-PP-01.

Fuentes contaminantes

Pino et al, (2017) en la publicación “Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú” señaló que las fuentes hidrotermales a causa de la actividad tectónica han marcado una influencia notable por el aporte de elementos contaminantes, entre los que se identificaron arsénico, hierro, boro y aluminio. Esto ocurre porque las lluvias que precipitan se infiltran y atraviesan distintas litofacies y el agua actúa sobre las rocas y sedimentos originando erosión, transporte y durante el desplazamiento disolviendo las partículas incrementando la concentración de elementos disueltos afectando la calidad del agua de forma natural.

En campo, se hizo el inventario de seis (06) fuentes contaminantes que consisten en aguas naturales minero-medicinales, de las cuales cinco (05) se ubican en la parte alta de la cuenca Caplina, en los sectores de Ancoma, Challaviento y Palca, específicamente en las quebradas Aruma, Paroloco, Umalata, Toquela y Pachaza, estas son aguas mineralizadas con altos contenidos de hierro y arsénico, Otra (01) fuente contaminante corresponde a los baños termales en el distrito Calientes, en donde se da la ocurrencia de vertimientos que discurren a través de una geomembrana impermeabilizada hasta el cauce del río Caplina.

Unidad hidrográfica Caplina 13156

En la unidad hidrográfica Caplina 13156, se determinó un total de veinte (16) fuentes contaminantes, de las cuales diez (10) son de origen antropogénico: de estas fuentes contaminantes de origen antropogénico, tres (03) fuentes contaminantes consisten en aguas residuales de origen poblacional que provienen de Palca, Calientes y el Anexo

Ingenio, estas aguas no son tratadas y son vertidas directamente al suelo y siete (07) son fuentes contaminantes que consisten en residuos sólidos, de los cuales una (01) corresponde al botadero municipal Alto Intiorko de Tacna con un área de 26,36 hectáreas, con una disposición diaria de 200 toneladas por día, Además, se tienen seis (06) fuentes contaminantes que consisten en agua minero-medicinales de origen natural.

Unidad hidrográfica Sama 13158

En la unidad hidrográfica Sama 13158, se determinó un total de veinte (22) fuentes contaminantes, de las cuales trece (13) fuentes contaminantes consisten en aguas residuales, de las cuales cinco (05) son de origen municipal y forman parte de los drenajes de Ticaco, Tarata, Chucatamani, Chipispaya y Sama Las Yaras. Las restantes son ocho (08) fuentes contaminantes identificadas que consisten en aguas residuales de origen doméstico ubicadas en los centros poblados de Yabroco, Sitajara, Talabaya, Tarata, Tarucachi, Estique Pampa y Sama Inclán, de los cuales uno (01) corresponde a un relave minero en Susapaya, que presenta forma de cono con patrones de drenaje, el mineral está expuesto en superficie, hay transporte eólico por lo que representa un gran potencial de contaminación. Los nueve (09) restantes corresponden a botaderos ubicados en Tarata (1), Sitajara (2), Tarucachi (1), Estiquepampa (1) y Ticaco (2), uno de ellos, ubicado en la quebrada Quilahuani.

Unidad hidrográfica Hospicio 13154

En la unidad hidrográfica Hospicio 13154, se determinó una (01) fuente contaminante que consiste en aguas residuales de origen municipal del efluente de la PTAR Arunta en el sector Viñani, se observó que presenta rajaduras por la ocurrencia de huaicos ocurridos en la zona por lo que tiene un potencial de contaminación, a su vez esta agua es usada para riego de tuna para la producción de cochinillas.

Unidad hidrográfica Intercuencia 13157

En la unidad hidrográfica Intercuencia 13157, se determinó un total de seis (06) fuentes contaminantes, Se identificaron tres (03) fuentes contaminantes que consisten en botaderos ubicados en la entrada del balneario Llostay y zonas aledañas, el cuerpo receptor es el suelo y en algunos casos son compactados con arena de playa, Además, se registraron tres (03) fuentes contaminantes correspondientes a sustancias vertidas in situ en los Palos la Yarada, sin medidas de contención, que percolan en el suelo mostrándose como una capa de color violáceo con altos contenido de materia orgánica.

Unidad hidrográfica Intercuencia 13155

En la unidad hidrográfica Intercuencia 13155, se determinó un total de trece (13) fuentes contaminantes. Se identificaron (02) fuentes contaminantes que consisten en aguas residuales de origen municipal que consisten en los efluentes de las PTAR Copare y Magollo las cuales atraviesan canales de concreto y se destinan para el regadío de plantas de tara y tuna. Asimismo, también se identificaron dos (02) fuentes contaminantes que consisten en aguas residuales de origen doméstico de las cuales una proviene de Vilavilani y se trata También se identificaron siete (07) fuentes contaminantes que consisten en desmontes mineros en bocaminas de exploración minera en Yangane (5) e Higuera (2) con un alto potencial de contaminación debido a

su cercanía al río. Asimismo, se identificaron dos (02) fuentes contaminantes que consisten en vertimientos in situ, en los sectores 28 de agosto, procedentes del procesamiento de olivo de aguas residuales no tratados que se vierten directamente en el río.

Unidad hidrográfica Intercuenca 13153

En la unidad hidrográfica Intercuenca 13153, no se encontraron fuentes contaminantes.

Otras fuentes contaminantes

En el área de estudio hay una intensa actividad agrícola dedicada en su mayor parte al cultivo del olivo. Durante el procesamiento industrial del olivo suele haber emisiones de vertimientos residuales, por lo que las industrias deberían contar con instalaciones de almacenamiento o pozas impermeabilizadas a fin de evitar la contaminación del suelo por percolación. En primer lugar, se hizo una investigación bibliográfica a fin de encontrar los principales fundos productores de olivo con mediana y alta producción.

La intensa actividad agrícola ha llevado al uso de fertilizantes, los cuales también son considerados como fuentes contaminantes debido a los elementos químicos presentes, ya que se trata de compuestos nitrogenados. Estos son suministrados en su mayoría por un sistema de riego por goteo (95,4% del total), focalizado en un total de 35,000 Ha y por un sistema de riego por gravedad (4,6% del total) alcanzando este último una mayor profundidad hacia el acuífero. En base a esto, se elaboró un mapa de zonas agrícolas que muestra la extensión de estas fuentes contaminantes.

Asimismo, la intrusión marina es un proceso que ocurre debido a la explotación desmedida de las aguas subterráneas por lo que ocurre un avance del agua de mar hacia el continente, se puede ver que esto ocurre principalmente en los balnearios y en zonas cercanas del litoral. Por tanto, se elaboraron mapas de distribución de la concentración de Na⁺ disuelto y Cl⁻ disuelto de muestras tomadas en el año actual (2022) y se muestran en la Figura 22.

A fin de evaluar la tendencia temporal en la química del agua subterránea se hizo una comparación con los mapas de distribución química (Na⁺ y Cl⁻) elaborados por Vera et al, (2020) quienes realizaron una evaluación de naturaleza temporal de la intrusión marina en el sistema acuífero Caplina,

A partir de las isolíneas se puede observar la ocurrencia de altas concentraciones de Na⁺ y Cl⁻ en la zona litoral y a nivel temporal se observa un incremento de estas y la aparición de nuevos focos de concentración iónica en dirección suroeste, tal como en el sector Francisco Bolognesi, cerca del límite fronterizo.

Además, se amplió el análisis para la zona litoral de las cuencas e intercuenas aledañas, mostrando un incremento importante no solo en el sistema acuífero Caplina, sino también en la Intercuenca 13157 y la cuenca Sama, además, en otros estudiados se han registrado elevadas concentraciones de HCO₃⁻, Na⁺ y Cl⁻ las cuales se han relacionado con la presencia de evaporitas (ver Figura 23).

Figura N. 22 Mapa de comparación de isolíneas de las concentraciones de Na+ y Cl- para 2020: (a) Na+, (b) Cl- y para 2022: (c) Na+, (d) Cl-, en la zona litoral del sistema acuífero Caplina

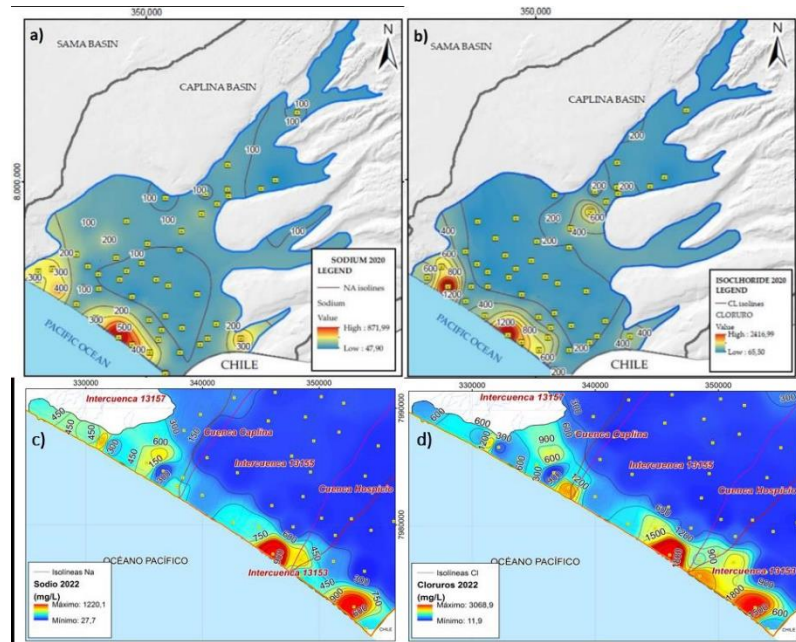
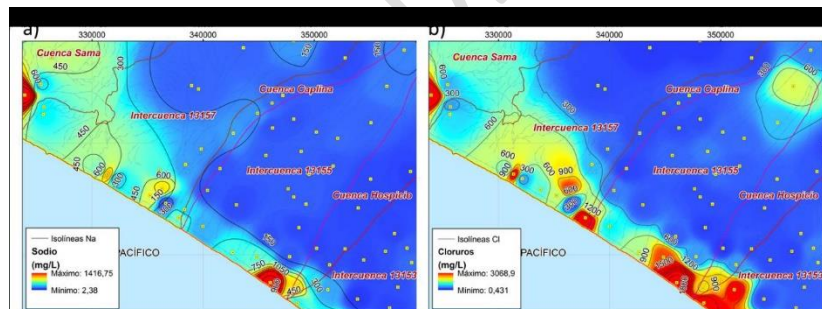


Figura N. 23 Mapa de isolíneas de las concentraciones de Na+ y Cl- para 2022: (a) Na+, (b) Cl- en la zona litoral de las cuencas Sama, Caplina y Hospicio e intercuencas aledañas



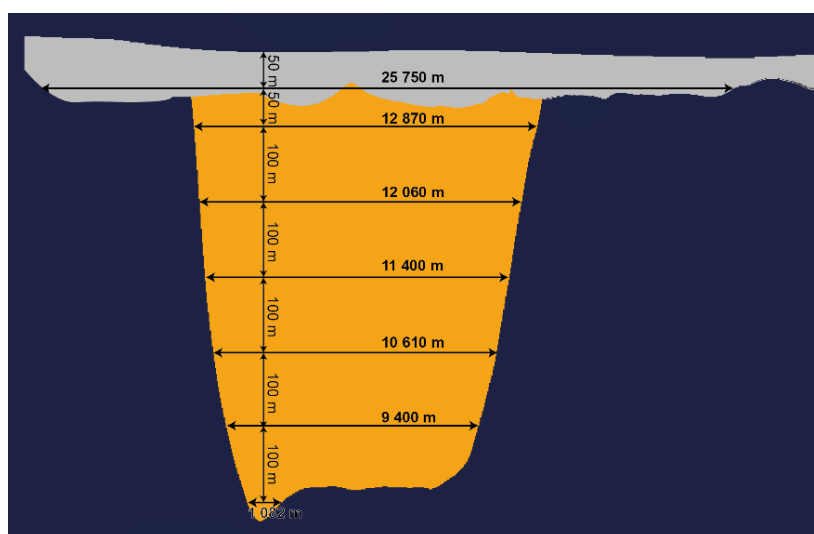
Salida - entrada de agua subterránea dulce al sistema de agua subterránea salada

En términos generales el flujo de agua en el subsuelo conforma un sistema de agua subterránea dulce que se mueve hacia el litoral, el mismo que entra en contacto con un sistema de agua subterránea salada en el subsuelo marino; salinidad proveída por la carga constante de agua salada que le proporciona el mar.

En los primeros metros del acuífero que ya se encuentra debajo del mar, entra en contacto el agua dulce con el espejo de agua libre del mar, pero hacia abajo, el espesor saturado del reservorio acuífero continúa su flujo en un medio poroso que contiene agua salada producto de la carga constante del agua de mar.

En la Figura 24 se muestran las longitudes a diferentes profundidades del contacto del plano vertical con el cuerpo del reservorio utilizadas para los cálculos.

Figura N. 24 Sección trasversal al cuerpo acuífero en el litoral



El caudal de salida así determinado es de 2,20 m³/s que hace un volumen anual de 69,38 Hm³. En la Tabla xx se muestra la estimación de la salida de agua subterránea al mar.

Figura N. 25 Estimación de la salida de agua subterránea dulce hacia el sistema agua subterránea salada, Aproximación piezométrica Ley de Darcy

Espesor saturado (m)	A	B	C	T (m ² /s)	Q=A*B*C (m ³ /s/m)	Q/m de litoral= B*C (m ³ /s)	Volumen anual (hm ³)
	L (m)	i (no dimensi.)	Factor confinamiento				
50	25750	0,005549	1	0,002	0,283922	1,10 E-05	8,95
100	12870	0,005549	1,2	0,004	0,340574	2,21 E-5	10,74
200	12080	0,005549	0,7	0,006	0,27971	3,31 E-5	8,82
300	11400	0,00444	0,7	0,0079	0,281562	3,53 E-05	8,88
400	10610	0,00444	0,74	0,0159	0,55405	7,06 E-05	17,47
600	9400	0,002775	0,74	0,0238	0,460185	6,62 E-05	14,51
Salida Agua dulce					2,2		69,38

Caudales de entrada de agua salada

Teniendo en cuenta que con la aproximación de Ghyben Herzberg se toma en cuenta la relación de densidades de las aguas y que la profundidad de la cuña de la interfase se ha colocado a 40m, entonces se calcularemos el flujo de entrada de agua salada por el método de Darcy, puesto que en el sentido flujo de entrada hacia el acuífero éste es solamente de agua salada.

En la siguiente tabla se muestra los resultados del cálculo de entrada de agua salada al acuífero.

Figura N. 26 Estimación de la entrada de agua salada, Método Darcy

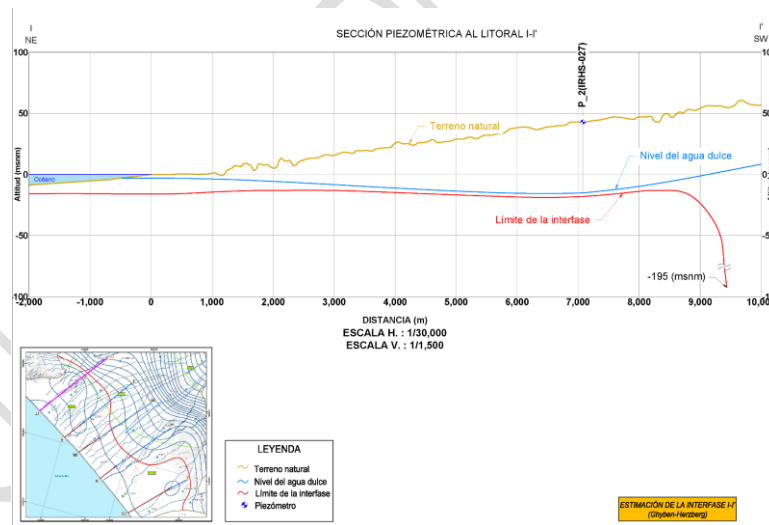
Espesor saturado (m)	A	B	C	T (m ² /s)	Q=A*B*C (m ³ /s/m)	Q/m de litoral= B*C (m ³ /s)	Volumen anual (hm ³)
	L (m)	i (no dimensi.)	Factor confinamiento				
0-50	23000	0,00236332	1,00	0,0014	0,07560	0,0000033	2,38
50-100	23000	0,00236332	1,20	0,0028	0,18144	0,0000066	5,72
100-200	23000	0,00236332	0,70	0,0042	0,15876	0,0000099	5,01
TOTAL							13,11

Posición de la cuña de interfase

En la zona de interacción de las aguas dulce y salada en el subsuelo se da un proceso de mezcla de ambas aguas abarcando un área que va gradando de poca participación de agua salada a un incremento cada vez mayor del agua salada en dirección de mar adentro y también en profundidad, zona conocida como zona de mezcla o cuña marina.

En el acuífero Caplina ciertamente se está dando el proceso de intrusión marina visto que los niveles piezométricos se encuentran por debajo del nivel del mar en aproximadamente -5 msnm a todo lo largo de su límite abierto con el Océano Pacífico, con puntos críticos de -15 msnm, y que el nivel positivo del agua se encuentra a más de 9,000 m de distancia de la línea litoral; lo cual da la certeza de que en el subsuelo la zona de mezcla debe estar próxima al nivel piezométrico.

Figura N. 27 Sección piezométrica al litoral I-I' mostrando posición de la interfase calculada



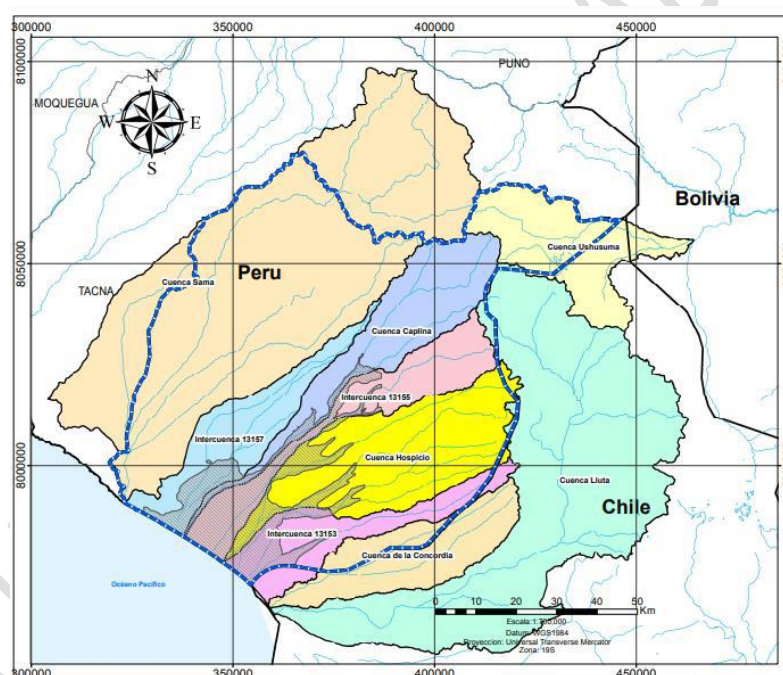
2.4 CARACTERIZACIÓN DE LA RECARGA

Delimitación del ámbito del acuífero, de las cuencas hidrográficas de aporte directo e indirecto, y zonificación de las principales actividades antrópicas asociadas al uso de los recursos hídricos.

El ámbito del presente estudio abarca las cuencas Sama, intercuena 13157, Caplina, intercuena 13156, Hospicio, intercuena 13153, Concordia (lado peruano) y Lluta (lado peruano) pertenecientes a la vertiente del Pacífico y la cuenca Uchusuma perteneciente la vertiente del Titicaca.

Geográficamente, las cuencas se encuentran ubicadas entre las coordenadas UTM: Datum: WGS 84, Zona 19: 300',000E 7'950,000N y 475,000E 7'950,000 y 8'100,000 N. En la Figura 22 se presenta la delimitación de las cuencas hidrográficas de aporte directo e indirecto al acuífero Caplina.

Figura N. 28 Cuencas e Intercuencas en el ámbito

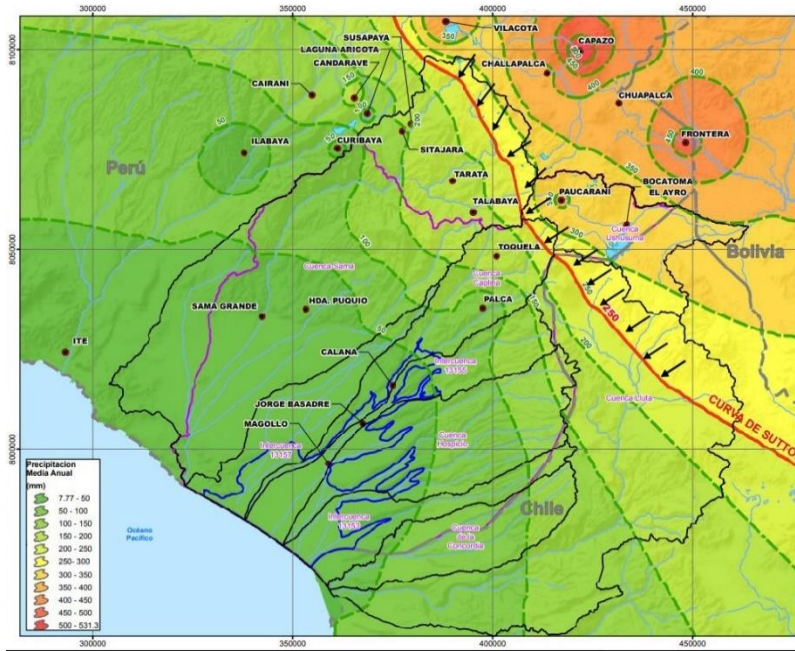


Potenciales fuentes de recarga natural y artificial

En la Figura 29 se presenta una aproximación inicial para la ubicación de las potenciales zonas de recarga por lluvia basada en la llamada “Curva de Sutton”.

Dicha curva establece que en los sectores de las cuencas de la costa peruana donde la lluvia media no excede a los 250 mm/año no se producirá escorrentía superficial, es decir se trata de la porción árida de las cuencas; en los sectores donde se producen lluvias mayores a los 250 mm/año se producirá escorrentía, es decir se trata de la porción húmeda de las cuencas.

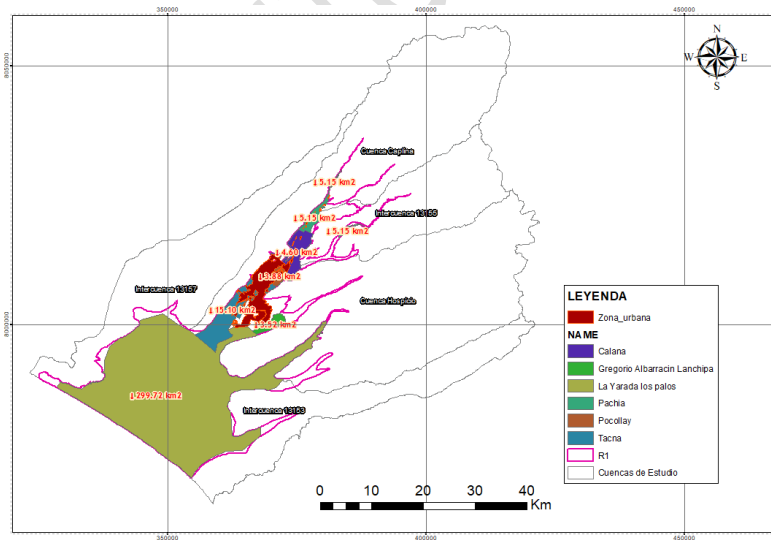
Figura N. 29 Potenciales Zonas de Recarga por Lluvia del Acuífero Caplina



Recarga por infiltración por lluvia directa sobre el acuífero (R1)

En la Figura 30 se presenta la delimitación del área superficial del acuífero y la zonificación respectiva en términos de los usos de sus suelos.

Figura N. 30 Delimitación del área superficial del acuífero y la zonificación



En la Tabla 4 se presentan los resultados de los cálculos de la recarga total por infiltración por lluvia directa sobre el acuífero para un ponderado entre los años húmedos y el resto de los años normales, debido a que todos los datos presentaban una variación muy grande.

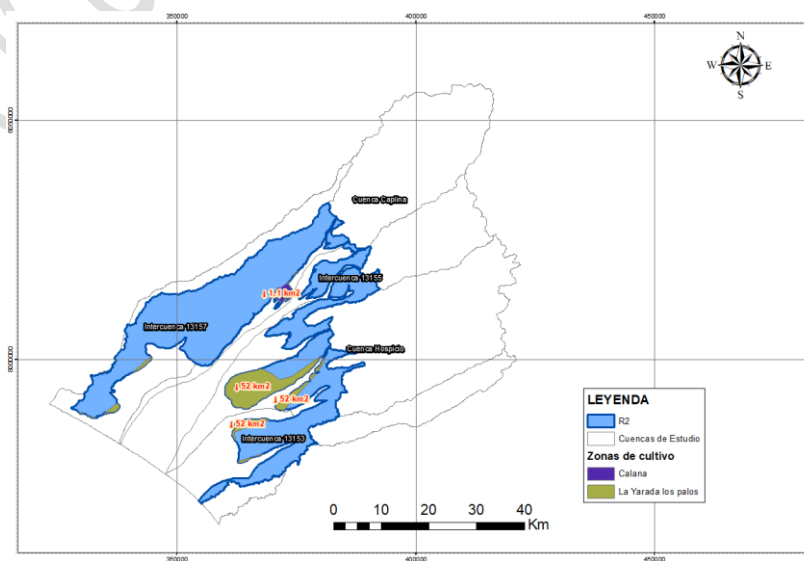
Tabla N. 4 Recarga por precipitación sobre el área del acuífero

Mes	Recarga promedio mensual (hm ³)
Enero	0,01
Febrero	0,00
Marzo	0,00
Abril	0,00
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	0,05
Agosto	0,00
Setiembre	0,02
Octubre	0,00
Noviembre	0,00
Diciembre	0,00
Anual	0,06
Máximo	2,83
Mínimo	0,00

Recarga por infiltración por lluvia sobre las laderas adyacentes al acuífero (R2)

En la Figura 31 se presenta la delimitación del área superficial de las laderas adyacentes al acuífero y la zonificación respectiva en términos de los usos de sus suelos.

Figura N. 31 Delimitación de las laderas adyacentes al acuífero y la zonificación



En la Tabla 5 se presentan los resultados de los cálculos ponderados en MMC para el área R2 de 1156,63 km²

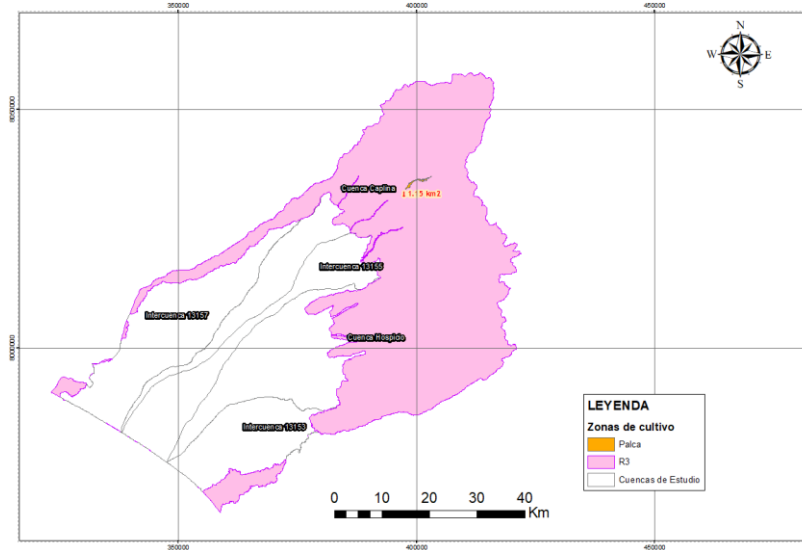
Tabla N. 5 Recarga por precipitación sobre laderas adyacentes, Año medio

Mes	Recarga promedio mensual (hm ³)
Enero	0,04
Febrero	0,01
Marzo	0,00
Abril	0,00
Mayo	0,00
Junio	0,00
Julio	0,08
Agosto	0,00
Setiembre	0,02
Octubre	0,00
Noviembre	0,00
Diciembre	0,00
Anual	0,15
Máximo	4,74
Mínimo	0,00

Recarga por aporte subterráneo de cursos de agua que ingresan al acuífero (R3)

En la Figura 32 se presenta la delimitación del área superficial de la zona de recarga R3 y la zonificación respectiva en términos de los usos de sus suelos.

Figura N. 32 Delimitación del área superficial de la zona de recarga de los cursos de agua que ingresan al acuífero



En la Tabla 6 se presentan los resultados de los cálculos de la recarga total por infiltración por lluvia directa sobre el suelo de las cuencas de contribución hasta los puntos donde los cursos involucrados ingresan al acuífero para un año medio correspondiente al periodo 1964-2021.

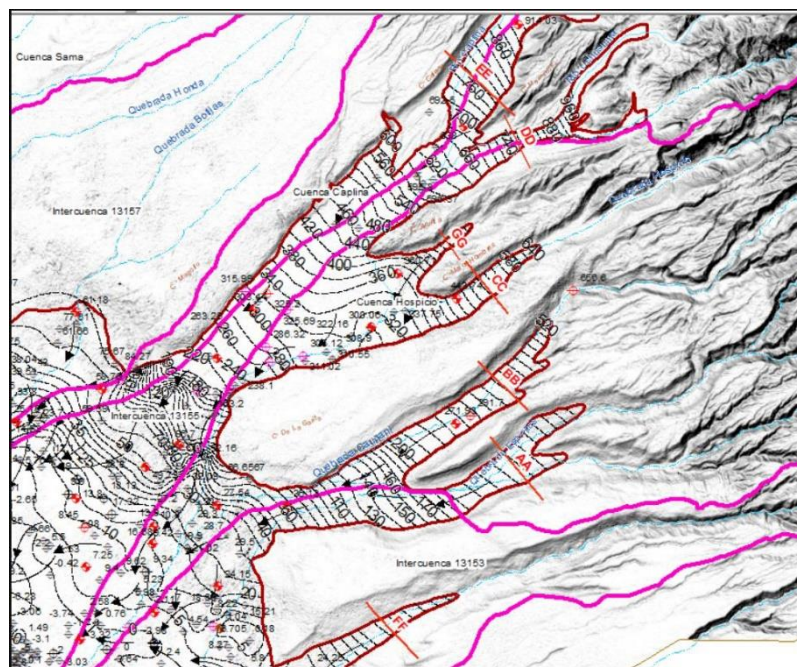
Tabla N. 6 Volúmenes de Recarga (hm³) por Infiltración total por lluvia directa sobre el suelo de las cuencas de contribución hasta los puntos donde los cursos involucrados ingresan al acuífero para un Año Medio

Mes	Recarga promedio mensual (hm ³)
Enero	2,43
Febrero	3,80
Marzo	1,15
Abril	0,03
Mayo	0,00
Junio	0,01
Julio	0,03
Agosto	0,00
Setiembre	0,01
Octubre	0,00
Noviembre	0,01
Diciembre	0,15
Anual	7,62
Máximo	65,8
Mínimo	0,00

Cálculo mediante la aplicación de la Ecuación de Darcy

Este cálculo consideró los ingresos de flujo subterráneo al acuífero a través del material aluvial ubicado debajo de los cursos que ingresan (R3) al mismo. En la Figura 33 se presentan las secciones de aporte (BB, CC, DD y EE) tomadas en cuenta.

Figura N. 33 Ubicación de las secciones de aporte consideradas para la recarga R3



La cuantificación se realizó aplicando la ecuación de Darcy en cada una de las secciones de aporte consideradas.

$$Q = K, i, A$$

Donde:

Q: Caudal Aportado (m³/s)

K: Conductividad Hidráulica Media (m/s)

I: Gradiente Hidráulico (m/m)

En la Tabla 7 se presentan los términos y resultados de los cálculos de la recarga por aporte a través del aluvial de los cursos involucrados que ingresan al acuífero.

Tabla N. 7 Volúmenes de Recarga (MMC) por Aporte de Flujo Subterráneo que Ingresa a Través del Material Aluvial de los cursos que ingresan al Acuífero

Curso	Sección de aporte	Area de flujo A (m ²)	Conductividad hidráulica K (m/s)	Gradiente hidráulico I (m/m)	Caudal Q (m ³ /s)	Volumen anual (hm ³)
Qda, Caplina						
	Sec1 - EE	127985	5,79E-05	0,030	0,219	6,91
Qda, Vilavilani						
	Sec2 - DD	24039	5,79E-05	0,043	0,060	1,9
Qda, Viñani						
	Sec3 - CC	11869	5,79E-05	0,033	0,023	0,71
Qda, Cauñani						
	Sec4 - BB	11019	5,79E-05	0,026	0,016	0,52
TOTAL						10,03

Cálculo recarga para cada río que ingresa al acuífero

Se calcula la recarga que ingresa a cada curso sobre el acuífero, esto se realizó mediante la metodología explicada Apéndice I,1 “Metodología de Schosinsky” y en la delimitación de las subcuencas que alimentan a los ríos que ingresa al acuífero, esto se muestra en la Figura 34.

Figura N. 34 Puntos de entrada de cursos de agua al acuífero

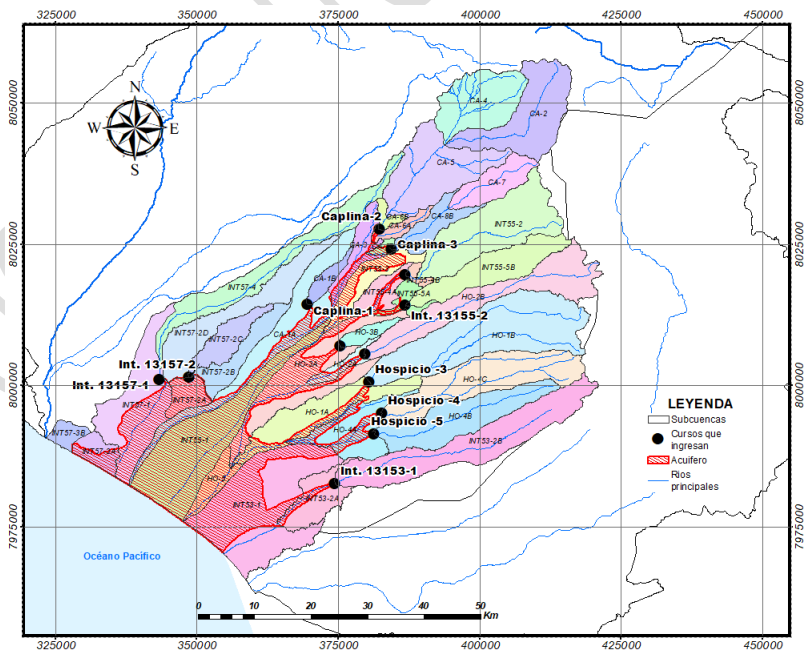


Tabla N. 8 Recarga que ingresa a cada curso

Entrada	Recarga (hm ³)
Caplina-1	0,001
Caplina-2	11,311
Caplina-3	0,164
Hospicio-1	0,002
Hospicio-2	0,074
Hospicio-3	0,181
Hospicio-4	0,118
Hospicio-5	0,052
Int, 13153-1	0,087
Int, 13157-1	0,059
Int, 13157-2	0,005
Int,13155-1	0,169
Int,13155-2	0,079
Total	12,302

Se muestra que la principal recarga está dada en la sub cuenca Caplina 2 la cual se debe a las mayores precipitaciones en la parte alta de la cuenca.

Recarga por infiltración en cursos de agua superficial que fluyen sobre al Acuífero (R4)

Esta recarga se produce por la infiltración de parte de los caudales de agua que circulan por los cursos de agua superficial que fluyen por el lecho de los ríos y quebradas, infiltrándose sobre el acuífero Caplina principalmente durante las épocas de lluvias andinas (diciembre a marzo), cuando los ríos manifiestan o incrementan su caudal.

La recarga media mensual para R4 se presenta en la Tabla 9

Tabla N. 9 Volúmenes de Recarga (MMC) por Infiltración en los Cauces que Fluyen sobre el Acuífero Caplina (R4)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Recarga Anual (hm3)
3,2	4,7	3,9	2,4	2,1	2	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,8	28,90

Recarga por aporte subterráneo proveniente de cuencas vecinas (R5)

Los resultados obtenidos se presentan de manera mensual en la Tabla 10.

Tabla N. 10 Volúmenes de Recarga (MMC) por aporte subterráneo de Cuencas Vecinas (R5)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Recarga Anual (hm3)
0,66	0,60	0,66	0,64	0,66	0,64	0,66	0,66	0,64	0,66	0,64	0,66	7,82

Recarga por infiltración por riego agrícola sobre el acuífero (R6)

El porcentaje del riego aplicado por gravedad que recarga al acuífero es de 10%, y que el porcentaje del riego aplicado por goteo que recarga al acuífero es del 3%; a partir de estos porcentajes y de los porcentajes de las zonas de riego irrigados por gravedad y por goteo se estimó el porcentaje de recarga resultante en cada zona de riego, Estos valores se presentan en la Tabla 11.

Tabla N. 11 Volúmenes de Recarga (MMC) por Infiltración por Riego Agrícola (R6)

Sectores de demanda	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Recarga Anual (hm ³)
Palca	0,021	0,024	0,022	0,016	0,007	0,004	0,006	0,008	0,014	0,016	0,017	0,016	0,17
Pachia	0,073	0,069	0,049	0,020	0,007	0,006	0,011	0,023	0,043	0,070	0,082	0,069	0,52
Calana	0,043	0,040	0,032	0,011	0,004	0,004	0,007	0,015	0,024	0,042	0,049	0,048	0,32
Pocolay	0,035	0,031	0,024	0,009	0,003	0,003	0,005	0,011	0,017	0,031	0,038	0,040	0,25
Distrito Tacna	0,111	0,101	0,082	0,030	0,014	0,014	0,020	0,035	0,054	0,095	0,118	0,122	0,80
Gregorio Albarracín Lanchipa	0,025	0,022	0,018	0,008	0,005	0,003	0,004	0,005	0,009	0,017	0,021	0,023	0,16
La Yarada	1,375	1,262	1,060	0,406	0,207	0,234	0,273	0,421	0,673	1,097	1,342	1,399	9,76
TOTAL	1,682	1,549	1,287	0,500	0,257	0,269	0,327	0,519	0,835	1,369	1,666	1,718	11,98

Recarga por Aporte Subterráneo proveniente de otras fuentes artificiales (R7)

Las recargas de fuentes artificiales provienen de las pérdidas en las redes de agua potable y alcantarillado, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N. 12 Volúmenes de Recarga Total Estimada (MMC) para el Acuífero La Yarada

Tipo de recarga	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Recarga Anual (hm ³)
Filtraciones redes de agua potable	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005	0,055
Filtraciones de redes de saneamiento	0,28	0,25	0,28	0,27	0,28	0,27	0,28	0,28	0,27	0,28	0,27	0,28	3,290
TOTAL	0,285	0,254	0,285	0,274	0,285	0,274	0,285	0,285	0,274	0,285	0,274	0,285	3,345

Recarga Total del acuífero

La recarga total del acuífero es de 57,46 hm³, el resumen se muestra en la tabla siguiente:

Tabla N. 13 Volúmenes de Recarga Total Estimada (MMC) para el Acuífero La Yarada

Tipo de recarga	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Recarga Total (hm ³)
R1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,06
R2	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,15
R3	2,43	3,80	1,15	0,03	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,15	7,62
R4	3,20	4,70	3,90	2,40	2,10	2,00	1,90	1,80	1,80	1,70	1,60	1,80	28,80
R5	0,66	0,60	0,66	0,64	0,66	0,64	0,66	0,66	0,64	0,66	0,64	0,66	7,82
R6	1,68	1,55	1,29	0,50	0,33	0,27	0,33	0,52	0,84	1,37	1,67	1,72	11,98
R7	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,09	1,03
TOTAL	8,10	10,7	7,09	3,65	3,11	3,00	3,14	3,07	3,41	3,82	4,00	4,42	57,46

2.5 BALANCE DEL ACUÍFERO

Modelo conceptual

El acuífero está emplazado en la parte final de la cuenca hidrográfica Caplina, por lo tanto, ocupa una extensión de terreno que limita con el Océano Pacífico y está unido con el resto de la cuenca por todos los cursos de agua que llegan a esta parte terminal. La cuenca en las partes altas está conformada por montañas que forman parte de la cadena occidental de Los Andes. Estas montañas son de rocas volcánicas, sedimentarias e ígneas que durante los procesos de levantamiento de la cordillera de Los Andes se plegaron, fallaron y fracturaron, son las receptoras de lluvia en la cuenca.

El reservorio acuífero en el subsuelo está conformado por materiales granulares no litificados de los depósitos aluviales modernos y materiales semi litificados con horizontes evaporíticos de formaciones granulares más antiguas como la Formación Millo, Formación Huaylillas y quizás la Formación Moquegua (no está plenamente identificado).

Como en la superficie misma del acuífero no llueve ni ha llovido significativamente en el pasado, el agua que llega al acuífero superficialmente por los ríos, quebradas, y subterráneamente, proviene de la propia cuenca Caplina a través de todos los ríos y quebradas que llegan a las pampas de La Yarada por diferentes mecanismos (corroborado por consideraciones isotópicas).

Así, como todo acuífero de fin de cuenca de la vertiente pacífica, el acuífero Caplina está alimentado por las aguas de precipitación en la parte montañosa de la cuenca, que se mueven desde las partes altas a través del propio río, de las acumulaciones en depósitos detríticos que luego vuelven a ceder al río, de aportes del agua infiltrada en los macizos rocosos en diferentes proporciones por diferentes secciones del río, que luego parte de ella es devuelta al propio río. De otro lado, parte de esta agua precipitada se pierde por evaporación en las zonas de retención superficial, por evapotranspiración en zonas de vegetación natural, y zonas agrícolas de las pampas, donde la temperatura es mucho mayor que en las partes altas.

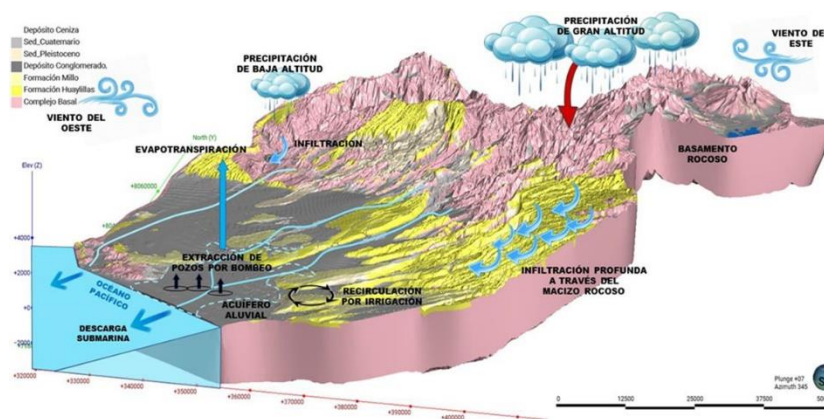
Otras fuentes de alimentación son las aguas que se infiltran a través de los canales de derivación y canales de distribución de riego no revestidos y, en las áreas de cultivo, del retorno de los excedentes de riego.

La descarga se produce hacia el mar por la porción de límite abierto situada en el extremo occidental del acuífero, por evaporación allí donde la zona saturada se encuentra próxima a la superficie, y principalmente por las extracciones a través de pozos.

El acuífero tiene un límite abierto muy grande del orden de 24 km en su contacto con el mar; en el cual está identificado el fenómeno de intrusión marina, que se aprecia claramente por la pérdida de carga hidráulica del agua dulce respecto de la salada: la cota 0 msnm en el acuífero que debiera estar ubicada en la línea litoral, se encuentra en promedio 10 km tierra adentro.

En la Figura 35 se muestra esquemáticamente el modelo conceptual de los componentes del sistema acuífero Caplina.

Figura N. 35 Esquema del modelo conceptual de los componentes del sistema acuífero Caplina



Balance de masas

La estimación de la variación de las reservas ha sido calculada en base a la ecuación del balance hídrico. Dichas componentes han sido cuantificadas y resumidas en los acápite anteriores, donde se muestra que las entradas (recarga) al acuífero suman en total 70,56 hm³/año y las salidas son de 197,21 hm³/año, lo que indica que existe un déficit de 126,64 hm³/año.

La recarga más significativa corresponde a la R4 la cual ha sido estimada en 28,80 hm³/año, que representa el 40 % de la recarga, seguida por la R6 la cual asciende a 11,98 hm³/año, que representa el 17 % de la recarga, (entre ambas el 57 % de la recarga; así mismo las salidas más importantes de agua subterránea corresponde a la S1 que asciende a 197,21 hm³/año, correspondiente a la explotación mediante pozos), la salida al mar no ha sido considerada.

Tabla N. 14 Variación de las reservas de agua subterránea considerando el ingreso de agua de mar

Detalle	Código	Volúmen anual (hm3)
Ingreso de agua al acuífero	R1: Recarga por Infiltración por Lluvia sobre el Acuífero	0,06
	R2: Recarga por Infiltración por Lluvia sobre las Laderas Adyacentes al Acuífero	0,15
	R3: Recarga por aporte subterráneo de cursos de agua que ingresan al Acuífero	7,62
	R4: Recarga por Infiltración en cursos de agua superficial que fluyen sobre el Acuífero	28,80
	R5: Recarga por Aporte Subterráneo proveniente de cuencas vecinas	7,82
	R6: Recarga por Infiltración por Riego Agrícola sobre el Acuífero	11,98
	R7: Recarga por Aporte Subterráneo proveniente de otras fuentes artificiales	1,03
	Ingreso de agua del mar	13,11
	SUB TOTAL	70,57
Salidas de agua del acuífero	S1: Salida por Extracción de Agua por Pozos	197,21
	S2: Salida al Océano Pacífico	0
	SUB TOTAL	(197,21)
VARIACIÓN DE LA RESERVA		(126,64)

3. DIAGNÓSTICO

En el taller desarrollado con la participación de todos los actores de la cuenca, se identificaron los problemas que se están dando en el sistema de explotación y de gestión del acuífero Caplina-La Yarada, los cuales tienen una relación sistémica. No se podría entender la sobre explotación del acuífero sin entender las relaciones en la gestión, de las externalidades socioeconómicas y político institucionales que han desencadenado la proliferación de pozos y la sobre explotación del acuífero; generando insostenibilidad en su aprovechamiento,

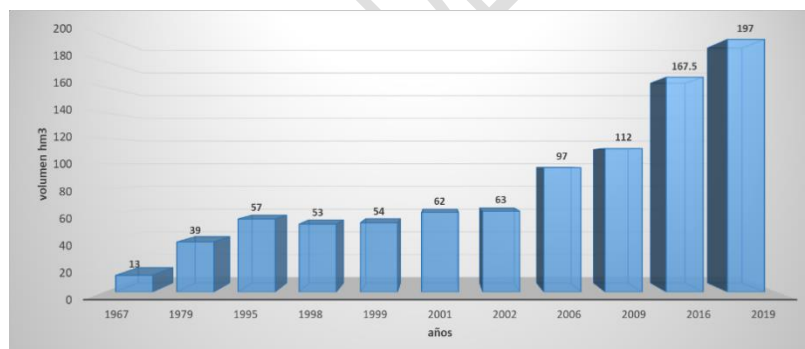
Los problemas que afectan el acuífero son de carácter físico, socio económico y político institucionales, los cuales fueron analizados y categorizados por los actores.

3.1 DIAGNÓSTICO FÍSICO AMBIENTAL

Problema: Desbalance del acuífero

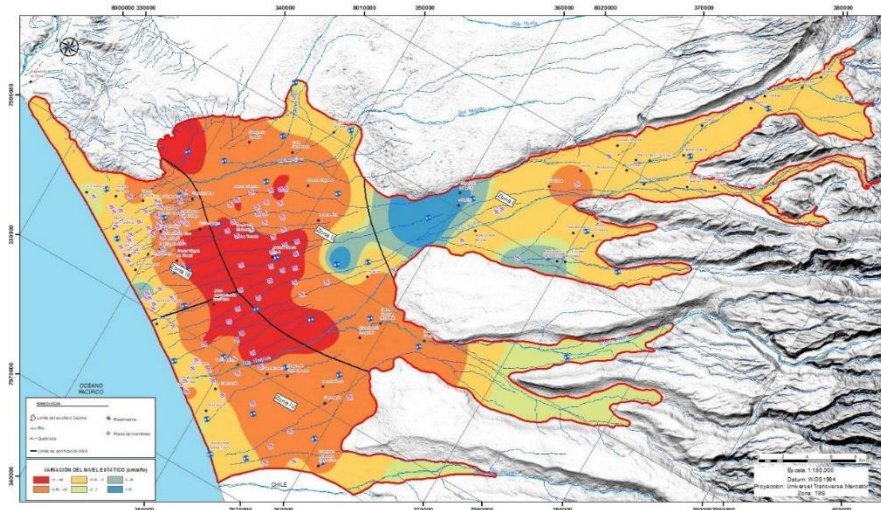
En los aspectos físico ambientales un primer problema es el incremento de las extracciones que se ha dado principalmente desde el año 2006 y continúa en incremento, la siguiente figura nos muestra el incremento de las extracciones del agua del acuífero.

Figura N. 36 Incremento de las extracciones en el acuífero Caplina – La Yarada



Teniendo en consideración las recargas cuantificadas de agua dulce en 57,55 hm³ y una extracción de 197,26 hm³, se puede concluir que existe una disminución anual de las reservas de -139,71 hm³, lo que significa también una profundización del nivel donde los valores oscilan entre 89 a 167cm/año. Las variaciones se han categorizado en 6 rangos, el primero comprende valores de descensos mayores a 80 cm/año, representados en color rojo, el segundo rango, representado en color anaranjado, hace referencia a los valores de descensos comprendidos entre los 30 y 80 cm/año. El tercer rango, representado en amarillo, muestra valores de tasas de descenso que varían entre 3 y 30 cm/año. El cuarto rango, muestra un cambio de la variación del nivel estático, de descenso a ascenso, puesto que comprende valores positivos y negativos de tasas de descenso, variando entre -3 a 3 cm/años. El quinto rango comprende ascensos del nivel freático que varían entre 3 a 30 cm/año, y, por último, el sexto rango, muestra los ascensos mayores a 30 cm/año (Figura xx).

Figura N. 37 Variación de la Nivel Estático en el Sistema Acuífero Caplina



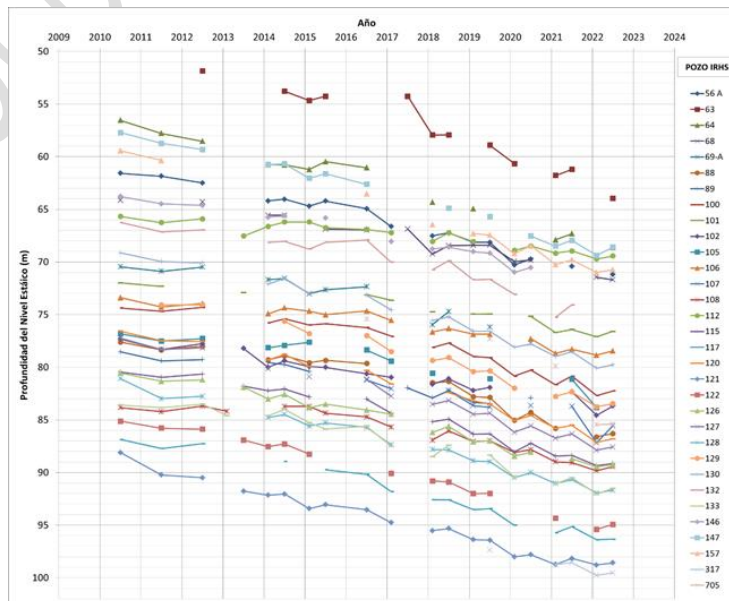
Los menores descensos en la zona más próxima al mar se explican por la intrusión de agua marina al interior del acuífero.

Zona II, Asentamientos

Se han identificado los mayores valores de descenso de la napa, con valores de 167 y 134 cm/año, correspondiente a los pozos IRHS 705 y 63, respectivamente. Estos descensos se localizan, principalmente, en los sectores de La Yarada, Hacienda El Carmen, Asentamiento 5 y 6, a ambas márgenes de la carretera Hospicio-Los Palos, Asimismo, de manera circundante al anterior se ubican el rango de variación de entre 3 a 30 cm/año, comprendiendo la mayor cantidad de sectores; Defensa Patria, Garita de Control Hospicio, Estación El Hospicio, Hospicio, Yarada Alta, Nuevo Copare, 8 de Diciembre, Pampa La Yarada y Asentamiento 4.

La Figura 38 muestra una clara tendencia de los pozos de monitoreo al descenso, siendo en general, la zona que presenta la mayor tasa de descenso en el ámbito de estudio, y de una manera consistente.

Figura N. 38 Variaciones del nivel estático entre los años 2010 al 2022 en la zona II

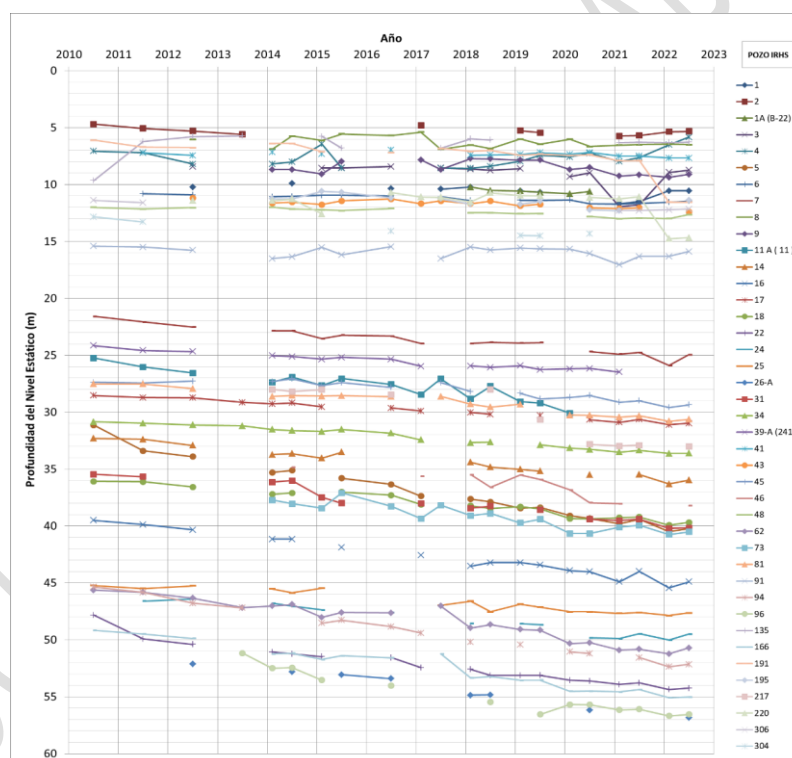


Zona III, Yarada Antigua – Yarada Baja – Las Palmeras

En esta zona se puede diferenciar que las tasas de descenso van disminuyendo conforme la orientación suroeste, hacia el océano Pacífico; identificándose los mayores valores en los sectores colindantes a El Progreso y Fundo Virgen de Chapi, con valores mayores a 80 cm/año, mientras que en los sectores de Hacienda San Antonio, Los Olivos, La Esperanza 1, Hacienda La Gringa, Hacienda La Morena, Pueblo Libre y Fundo Valdivia, se presentan tasas de descenso comprendidas entre 30 y 80 cm/año. Asimismo, de manera colindante al anterior, se localizan los descensos de entre 30 y 3 cm, donde se emplazan los sectores de Yarada Antigua, La Esperanza, Agro Curva del Pacífico, 10 de Mayo, San Pedro y San Pablo y Las Palmeras.

La Figura 39 muestra el hidrograma de la evolución de los niveles de pozos de monitoreo, definiéndose generalmente una clara tendencia al descenso, aunque con menor magnitud que en la zona II, y algunos casos particulares de niveles constantes.

Figura N. 39 Variaciones del nivel estático entre los años 2010 al 2022 en la zona III

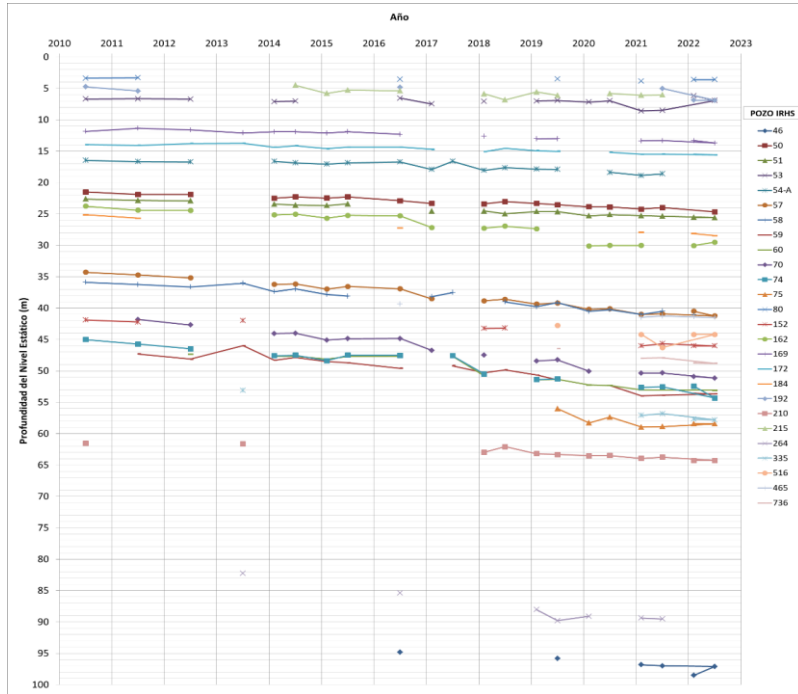


Zona IV: Santa Rosa

Esta zona obtiene un comportamiento parecido al de la Zona III, con tasas de descenso que van disminuyendo conforme la orientación suroeste, hacia el océano pacífico; identificándose los mayores valores en el sector Asoc. Agropecuaria Los Palos y las partes colindantes en dirección este y norte; con tasas de descenso mayores a 80 cm/año. Colindante a la anterior, se ubica el área de rango de tasa de descenso de 30 a 80 cm/año; localizado en los sectores de Virgen de Copacabana, Pachacutec, Las Lagunas, Las Salinas, Pedregal, Complejo Aduanero Santa Rosa.

La Figura 40 muestra los hidrogramas de la evolución temporal de los niveles estáticos para los pozos de monitoreo pertenecientes a la Zona IV, observándose una clara similitud con la zona III, con una tendencia general al descenso.

Figura N. 40 Variaciones del nivel estático entre los años 2002 al 2022 en la zona IV

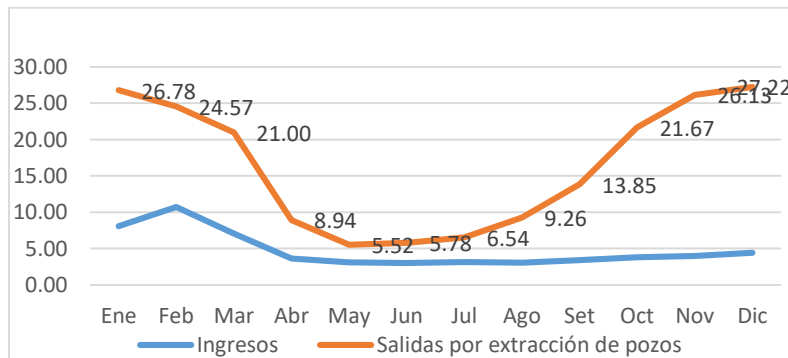


En conclusión, se está sobre explotando el acuífero en $-139,71 \text{ hm}^3$, como se muestra en la tabla 15 y gráfica 1 siguiente:

Tabla N. 15 Balance mensual de las aguas subterráneas

CONCEPTO	Año												Total (hm ³)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Ingresos	8,10	10,74	7,09	3,65	3,11	3,00	3,14	3,07	3,41	3,82	4,00	4,42	57,55
Salidas por extracción de pozos	26,78	24,57	21,00	8,94	5,52	5,78	6,54	9,26	13,85	21,67	26,13	27,22	197,26
BALANCE	-18,68	-13,83	-13,91	-5,29	-2,41	-2,78	-3,4	-6,19	-10,44	-17,85	-22,13	-22,8	-139,71

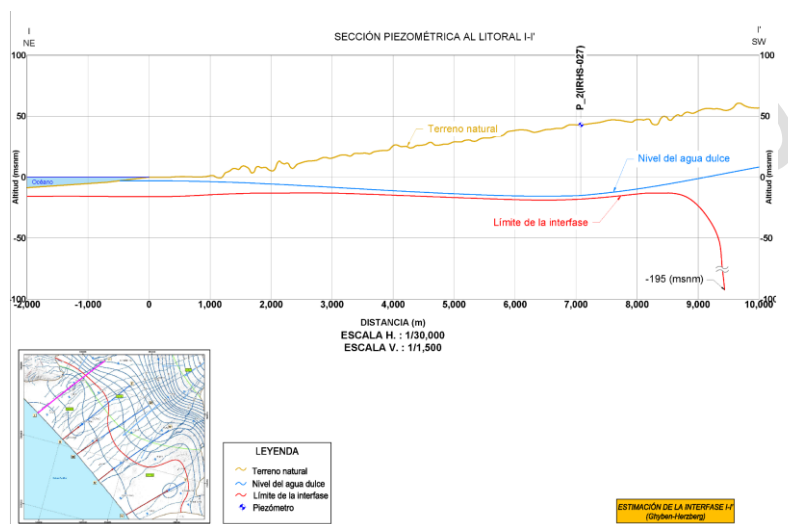
Gráfico N. 1 Balance del acuífero



Problema: Intrusión Marina

En el acuífero Caplina, ciertamente, se está dando el proceso de intrusión marina visto que los niveles piezométricos se encuentran por debajo del nivel del mar en aproximadamente -5 msnm a todo lo largo de su límite abierto con el océano Pacífico, con puntos críticos de -15 msnm, y que el nivel positivo del agua se encuentra a más de 9 000 m de distancia de la línea litoral; lo cual da la certeza de que en el subsuelo la zona de mezcla debe estar próxima al nivel piezométrico.

Figura N. 41 Sección piezométrica al litoral I-I' mostrando posición de la interface calculada



El volumen anual de agua de mar que se introduce al acuífero es de **13,11 hm³/año**.

Problema: Contaminación del agua del acuífero

a) Por Condiciones naturales de la cuenca. - Pino et al. (2017) en la publicación “Efecto de las características ambientales y geológicas sobre la calidad del agua en la cuenca del río Caplina, Tacna, Perú” señaló que las fuentes hidrotermales a causa de la actividad tectónica han marcado una influencia notable por el aporte de elementos contaminantes, entre los que se identificaron arsénico, hierro, boro y aluminio. Esto ocurre porque las lluvias que precipitan se infiltran y atraviesan distintas litofacies y el agua actúa sobre las rocas y sedimentos originando erosión, transporte y durante el desplazamiento disolviendo las partículas incrementando la concentración de elementos disueltos afectando la calidad del agua de forma natural. Se han identificado 6 fuentes de aguas termales minero medicinal: de las cuales cinco (05) se ubican en la parte alta de la cuenca Caplina, en los sectores de Ancoma, Challaviento y Palca, específicamente en las quebradas Aruma, Paroloco, Umalata, Toquela y Pachaza, estas son aguas mineralizadas con altos contenidos de hierro y arsénico. Otra (01) fuente contaminante corresponde a los baños termales en el distrito Calientes.

b) Por emisiones de vertimientos de la actividad agroindustrial. - Se han identificado 18 plantas de procesamiento de aceituna, de mediana a mayor capacidad, que generan posibles vertimientos al acuífero, estas plantas no cuentan con infraestructura de almacenamiento o pozas impermeabilizadas.

c) Otras fuentes de contaminación. - La intensa actividad agrícola ha llevado al uso de fertilizantes, los cuales también son considerados como fuentes contaminantes debido a los elementos químicos presentes, ya que se trata de compuestos nitrogenados. Estos son suministrados en su mayoría por un sistema de riego por goteo (95.4% del total) y por un sistema de riego por gravedad (4.6% del total) alcanzando este último una mayor profundidad hacia el acuífero.

3.2 SOCIO ECONÓMICO

Problema: Ocupación informal y desordenada del territorio. - Según el censo del año 2017 la población del distrito para este año fue de 6433 habitantes, el 86% de esta población llevaba viviendo cinco años o más en la zona (INEI, 2017). La municipalidad distrital de La Yarada - Los Palos, calcula para el 2018 una población aproximada de 16 432 habitantes.

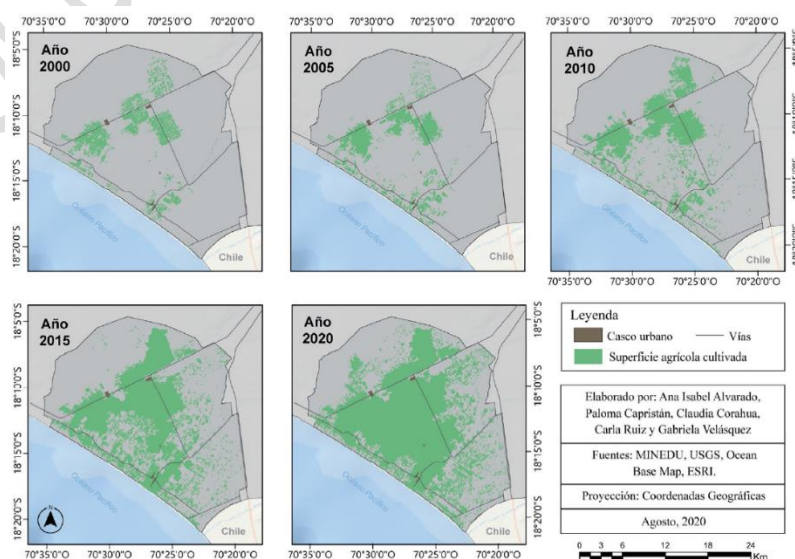
El proceso de ocupación del territorio ha sido desordenado; en el año 1971 el área ocupada en la zona del acuífero era de 2 000 has, para el año 2019 se incrementó a 30 413. Ver figura 42.

Figura N. 42 Evolución del área bajo riego (ANA, 2019)



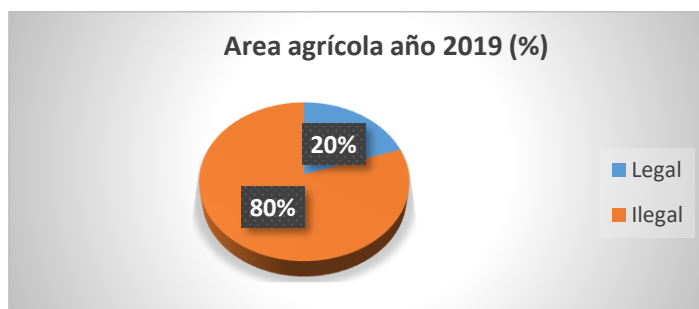
Las invasiones de terrenos, se hicieron sin ninguna planificación. Alvarado et al. (2020), en el estudio de “Variación del área agrícola en el distrito La Yarada Los Palos, Tacna, Perú”, desarrollado con imágenes satelitales, nos muestra la variación de las áreas agrícolas en el territorio, figura 43

Figura N. 43 Mapa multi temporal de la extensión de la superficie agrícola en el distrito. Fuente: Alvarado et al. (2020)



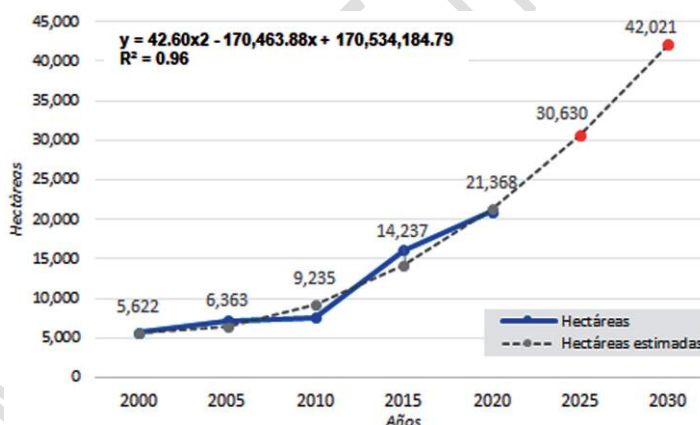
Como se puede observar la mayor área de ocupación ilegal se ha dado en la zona central del área del acuífero, siendo para el año 2019, el área informal el 80% del área total sembrada, como se observa en la figura siguiente:

Figura N. 44 Área agrícola en porcentaje.



Los registros de área ocupada ilegalmente en el distrito de La Yarada – Los Palos nos dan una proyección de área ocupada para el 2030, si continúa la tendencia actual, de 42 021 has, esto sería fatal para el acuífero, si es que la totalidad del área se destina al uso agrario.

Figura N. 45 Área ocupada en el distrito La Yarada – Los Palos. Fuente: Alvarado et al. (2020)



Como se observa en la gráfica la línea de tendencia se incrementa a partir del año 2010, incrementándose el año 2015, siguiendo una línea de tendencia parabólica.

En el mismo proceso de ocupación del territorio, algunas áreas se han destinado al uso urbano; el Plan de Uso de Suelos el cual forma parte del Plan de Desarrollo Urbano Rural La Yarada – Los Palos 2018-2028 ha clasificado el uso de los suelos en dos grandes grupos: “Urbanizable”, con tres subgrupos y “No Urbanizable” el cual contiene siete grupos. Alvarado et al. (2020).

La mayor área se encuentra en la categoría de NU- PA, no urbanizable de protección agrícola (área en color verde claro) sin embargo se pueden notar también áreas no urbanizables de uso pecuario (color naranja claro y áreas de uso urbano (en color amarillo).

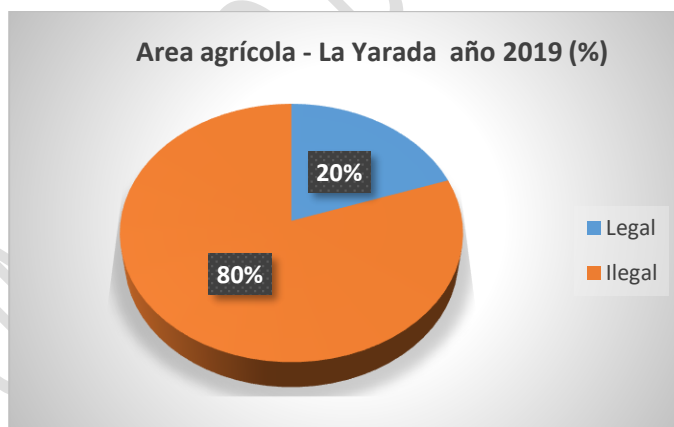
Figura N. 46 Plan de Uso del Suelo, distrito La Yarada – Los Palos.



Hay que señalar que a pesar que existe el Plan de Desarrollo Urbano del Distrito y el Plan de Acondicionamiento Territorial de la Provincia, estos no se están respetando. De otro lado hay que señalar que esta zonificación no ha tenido en cuenta la disponibilidad de recursos hídricos.

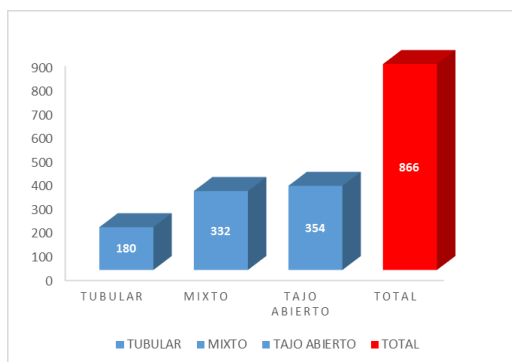
Problema: Áreas de cultivo sin licencia de uso de agua. - El área agrícola inventariada en el año 2019 llegó a 30 413 has. de las cuales el 80% no cuenta con licencia de uso de agua, como se muestra en la figura 47.

Figura N. 47 Área agrícola con y sin licencia de uso de agua. Año 2019



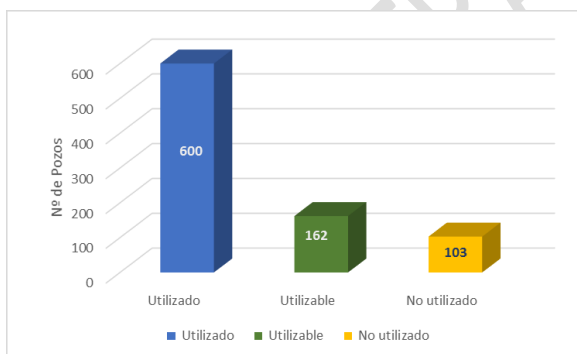
El área agrícola ha sido consecuencia de la perforación o apertura de pozos. Para el año 2019 la ANA inventarió 866 pozos de los cuales 790 eran ilegales. Los tipos de pozos son principalmente de tajo abierto (41%) y mixtos (38%), siendo solo tubulares el 20%.

Figura N. 48 Número de pozos por tipo.



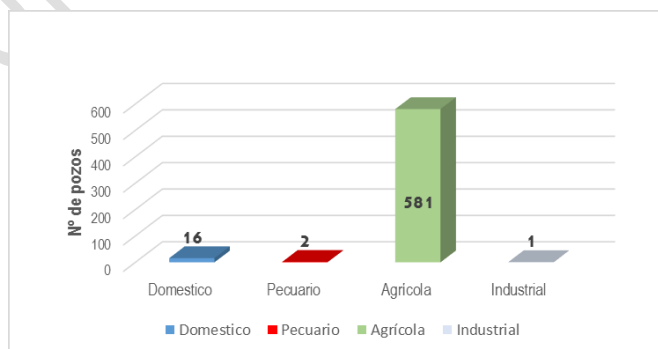
Del total de pozos solo 600 están siendo utilizados, 162 son utilizables y 103 son no utilizables, como se muestra en el siguiente gráfico.

Figura N. 49 Número de pozos por estado de uso.



Del total de pozos en uso el 96,83% es de uso agrícola y el 2,66% son de uso poblacional, las cantidades se muestran en la figura siguiente:

Figura N. 50 Número de pozos utilizados por tipo de aprovechamiento.



Problema: Falta de saneamiento de la tierra. – El proceso de ocupación del territorio ha sido mediante invasiones por asociaciones de agricultores o de vivienda, los cuales han desarrollado acciones posesorias como la construcción de viviendas precarias y la siembra de cultivos, con apertura de pozos. La especulación sobre el valor de los terrenos invadidos, ya sea para vivienda o para agricultura, ha llevado a una elevación de los precios de los terrenos ocupados, los cuales

se transfieren de manera informal. Los organismos propietarios de los terrenos como el Proyecto Especial Tacna o con competencias sobre terrenos eriazos del Estado como el Gobierno Regional, se han visto sobrepasados por la ocupación de los territorios y no pueden controlar la especulación en el mercado de tierras informal.

La falta de saneamiento de la tierra por parte de los organismos competentes, impide las actividades formales, ya sea de carácter inmobiliario, o agrario, en el eje estructural Agro Industrial Turístico Costero Tacna, La Yarada – Los Palos, establecido en Plan de Acondicionamiento Territorial de la provincia. Esta falta de saneamiento físico legal de los territorios ocupados, dificulta también la implementación de servicios básicos como la electrificación y el agua potable y saneamiento, así como también para las actividades productivas agrícolas y agroindustriales, principalmente para la agroexportación.

3.3 POLÍTICO INSTITUCIONAL

Problema: Inestabilidad social.

La inestabilidad social que se ha generado tiene como causas, la ocupación informal del territorio y la perforación de pozos y uso del agua de manera ilegal, lo que ha perjudicado a los usuarios legales, provocándose enfrentamientos entre los pobladores que se han asentado en terrenos de La Yarada, organismos estatales y la Junta de Usuarios que representa a los agricultores formales. La dinámica de ocupación rural – urbana, apropiación de tierras eriazas, que se viene dando en el territorio donde se encuentra el acuífero ha generado espacios de desarrollo urbano y productivo que requieren agua para su subsistencia, las condiciones de oferta de agua del acuífero no soportan esta dinámica de desarrollo del territorio, mucho más en contextos de alta informalidad y de decrecimiento de la economía. Expresiones de la inestabilidad ha sido la resistencia de los pobladores que ocupan el territorio de La Yarada a la recuperación de los territorios y al sellado de pozos propiciados por los organismos del Estado y los reclamos de los agricultores formales frente a la disminución del agua del acuífero y la intrusión marina, provocada por la sobre explotación del acuífero por los ocupantes informales.

Existe también conflictividad y enfrentamientos entre grupos de invasores de terrenos, como se muestra en la figura siguiente:

Figura N. 51 Dos bandos se enfrentan por el uso de un pozo. La Yarada 7/10/2022



Problema: Ausencia del Estado.

El estado peruano ha sido incapaz de contener la ola de invasiones en La Yarada, el informe de contraloría 004-2018-OCI-3413-AS, señala que *“La Entidad (Gobierno Regional de Tacna), carece de instrumentos normativos (procedimiento, directiva o lineamiento) para que la Oficina de Administración y Finanzas, ejecute acciones de posesión, administración, control, mantenimiento y supervisión de los terrenos (bienes muebles), de la Entidad, tales como: procedimientos (frecuencia de visitas, informes situacionales, panel fotográfico, videos, denuncias u otros), acciones, mecanismos de notificación, plazos y niveles de responsabilidad, coordinaciones con las áreas correspondientes de la misma Entidad; así como mecanismos de coordinación con otras entidades (Policía Nacional del Perú, Ministerio Público, Municipalidades, unidades ejecutoras del Gobierno Regional- Dirección Regional de Agricultura, energía y minas, transporte, u otras), para efectuar acciones que evidencien la posesión de los terrenos;...”*.

Este informe no hace más que evidenciar la ausencia del Estado en lo que respecta a las invasiones de tierras. Con respecto a la perforación ilegal de pozos, luego del atentado contra la vida del Administrador Técnico del Distrito de Riego en el mes de noviembre del año 2005, el Estado a través de la Intendencia de Recursos Hídricos, se replegó ante la violencia ejercida por los invasores de los terrenos de La Yarada, lo que significó una mayor apertura de pozos; con la implementación de la Ley de Recursos Hídricos, se retomó los controles pero con poca efectividad y sin coordinación entre las entidades que tienen competencias en el desarrollo del territorio y la Autoridad Nacional del Agua.

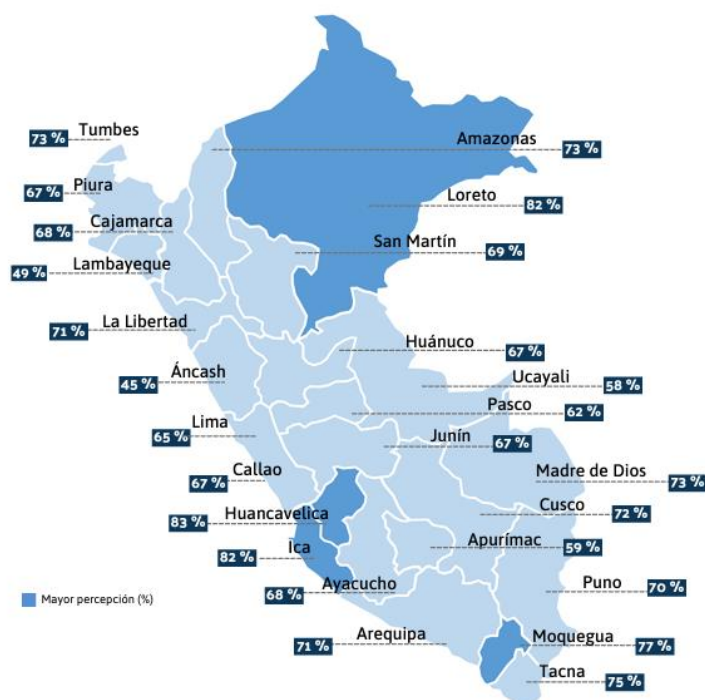
Problema: Corrupción

El informe sobre corrupción en el gasto público de la contraloría para el año 2020, ubica a la región Tacna en el quinto lugar de las regiones con mayor corrupción a nivel nacional. Según este informe el 25,5% del presupuesto público es el perjuicio que se produce en el departamento de Tacna por corrupción. Esto hace que la percepción de la corrupción de mayores de 18 años en el departamento llegue a ser del 75%, ver mapa de la corrupción Figura 52:

La corrupción se ha dado también en el tráfico de terrenos y la perforación de pozos. Los pobladores manifiestan, que muchos funcionarios de las diversas instituciones del Estado que tienen como función la vigilancia y control de los terrenos de La Yarada, son poseedores de terrenos y contribuyen en la extracción de agua del acuífero.

La corrupción genera también, desconfianza en las instituciones del Estado, en el caso de Tacna, solo el 15,7% de la población cree que la gestión del Gobierno Regional es buena o muy buena, con respecto al Poder Judicial el grado de confianza de la población es mucho menor, solo el 4,7% cree que realizan una buena labor. (CEPLAN, 2021).

Figura N. 52 Perú: percepción de la corrupción año 2020. (Defensoría del pueblo, 2022)



Problema: Falta de Autoridad.

La corrupción y la falta de Estado, son condiciones para que se pierda autoridad en la imposición de las normas y los controles en la ocupación de los terrenos y la extracción de agua del acuífero. La informalidad y el desorden son consecuencias de la falta de autoridad.

El marco normativo, para el uso del agua del acuífero está dado en la Ley de Recursos Hídricos, las restricciones para el uso del agua del acuífero se han dado desde los años 80 como se describe a continuación.

Según Decreto Supremo D.S. N° 080-84-AG del 6 de septiembre de 1984, se reservaron por dos años las aguas subterráneas de las pampas de La Yarada, y el D.S. N° 020-87-AG del 1 de mayo de 1987 da una prórroga por dos años más. Mediante Resolución Ministerial N° 0555-89-AG/DGAS del 5 de diciembre de 1989 se prohíbe la ejecución de obras destinadas a extraer aguas subterráneas en las pampas de La Yarada. Posteriormente, mediante R.M. N° 696-98-AG del 16 de diciembre de 1998 y con base en el estudio hidrogeológico de las pampas de La Yarada, se declara la veda sobre el incremento de explotación de agua subterránea en el acuífero. El Tribunal Constitucional, mediante sentencia emitida en el expediente N° 1290-2002-AC/TC se pronunció sobre la declaración de veda y la inaplicación de normas de regularización de licencias de agua en la zona declarada en veda. La Ordenanza Regional N°009-2004-CR/ GOB.REG.TACNA declaró de interés regional la intangibilidad y conservación de las aguas subterráneas y tierras eriazas del estado de las pampas de La Yarada. En el año 2006, mediante D.S. N° 065- 2006-AG, se declara de necesidad pública y de interés nacional la conservación y preservación del recurso hídrico del valle Caplina, ampliándose la veda a todo el acuífero Caplina (Art. 2). Esto es ratificado en el año 2009 mediante R.J. N° 327-2009-ANA del 15 de junio, que declara zona de veda el acuífero del valle del río Caplina, donde está incluido el acuífero de La Yarada; la prohibición de ejecución de obras de explotación de aguas subterráneas y la disposición de que los

Administradores Locales de Agua son los responsables del control y vigilancia de los acuíferos que se encuentran en sus respectivos ámbitos jurisdiccionales. La R.J. N° 201-2010-ANA, del 22 de marzo del 2010, ratifica las medidas para la conservación y preservación del agua subterránea, basada en el estudio “Modelamiento Numérico del Acuífero La Yarada”, el cual concluye que existe una sobreexplotación del acuífero y recomienda mantener la veda de la explotación del sistema. Finalmente, en el año 2015, se emite el D.S. N° 007-2015-MINAGRI, el cual en su segunda disposición complementaria señala: “Las zonas declaradas en veda mantienen su condición, procediéndose de manera excepcional y por única vez a formalizar o regularizar las licencias de uso de agua, conforme a lo establecido en el presente Decreto Supremo”.

A pesar de las normas la ocupación del territorio y la perforación del acuífero se ha incrementado no pudiendo establecerse el principio de autoridad para imponerlas. Algunas normas han sido contradictorias y han contribuido a relajar la autoridad de las instituciones, como el D.S. N° 007-2015-MINAGRI que contribuyó a la proliferación de pozos, proceso que no se ha detenido.

Problema: Gestión Insostenible del acuífero

El debate sobre la explotación y la problemática del acuífero, tiene varias décadas; se ha pretendido resolver el problema de sobreexplotación con una mirada técnica que sustentó regulaciones normativas con prohibiciones y restricciones para el uso del agua, sin embargo, esto no ha dado los resultados esperados.

La complejidad de la ocupación de La Yarada va más allá de solo ser un problema técnico o legal; la interrelación de factores sociales, económicos, ambientales e institucionales son fundamentales para entender los elementos que han configurado el desarrollo del territorio: a) la ocupación y apropiación informal de terrenos del Estado; la sobreexplotación del acuífero; b) el desarrollo productivo generado; c) la informalidad generalizada; d) el origen de los recursos financieros que sustentan las inversiones en pozos, sistemas de riego y producción; e) el surgimiento de nuevos actores como las asociaciones; f) las propuestas políticas de solución en el marco de la falta de credibilidad en el Estado, falta de Autoridad y corrupción; configuran un sistema complejo, cuya respuesta a las acciones o inacciones por parte del Estado han propiciado cambios en las estructuras de gestión y el desarrollo del territorio de la región Tacna.

La interrelación de los factores socio económicos con la debilidad de las instituciones que gestionan el desarrollo, han provocado la ingobernabilidad del territorio y del agua. Las asociaciones que han tomado posesión del territorio parcelándolo en terrenos de propiedad individual y que perforan pozos para hacer uso de un bien común no renovable en su totalidad, por las condiciones de disponibilidad del reservorio acuífero, no conocen o desconocen interesadamente, las consecuencias de su accionar en la sobre explotación del acuífero. Se configura un escenario de “tragedia de los comunes” en la que los perdedores serán todos y se perderá una oportunidad de desarrollo utilizando sosteniblemente los recursos del territorio.

El siguiente gráfico muestra las relaciones entre los factores de los subsistemas que están provocando la insostenibilidad del desarrollo del territorio de La Yarada.

Figura N. 53 Relación de los factores de insostenibilidad del desarrollo del territorio.



Árbol de problemas, el problema central.

Los problemas antes señalados se interrelacionan en un sistema que está generando la insostenibilidad del desarrollo del territorio, generado por la sobre explotación de las aguas subterráneas. Si bien las relaciones sistémicas se dan en procesos de múltiples relaciones, se puede simplificar en un árbol de problemas que muestra las principales relaciones de causa y efecto en el sistema. La siguiente figura nos muestra estas relaciones causales en un árbol de problemas, cuyo problema central es la inseguridad hídrica para la población actual y futura y para los usos productivos; generando el colapso del sistema productivo y por consiguiente el incremento de la pobreza de la población que vive de la producción agrícola y la agroindustria en el distrito de La Yarada - Los Palos.

Figura N. 54 Árbol de problemas



Determinación de las variables prioritarias

Sobre la base del diagnóstico se han determinado las variables prioritarias, que determinarán las líneas de acción a seguir para lograr la seguridad hídrica para todos los usuarios del acuífero.

Las variables seleccionadas son:

Variable 1. Seguridad Hídrica para la población y la agricultura.

Se refiere a dotar de agua en calidad, cantidad y oportunidad, principalmente para el uso de las poblaciones demandantes de agua el acuífero y para las actividades agropecuarias principalmente, sin dejar de lado las otras actividades como la agroindustria y el desarrollo de actividades de recreación y turismo. La sostenibilidad de esta variable, tiene como condición que la seguridad hídrica se sostenga en el tiempo.

Variable 2. Sostenibilidad económica

La sostenibilidad económica se refiere a mantener en el tiempo la producción agropecuaria y agroindustrial que se desarrolla en las áreas que se proveen agua del acuífero. Es altamente dependiente del nivel de seguridad hídrica que se alcance.

Variable 3. Ordenamiento del territorio y de los recursos hídricos.

Se refiere a ordenar el uso de los suelos y en consecuencia ordenar también la extracción de agua de los pozos, de acuerdo a las prioridades regionales y locales, vocación del territorio y disponibilidad de recursos.

Variable 4. Gobernabilidad.

La gobernabilidad es el resultado de las decisiones que se toman y los procesos de participación y transparencia en la gestión de los recursos del territorio; principalmente el agua del acuífero, como elemento condicionante al desarrollo del territorio.

DOCUMENTO DE TRABAJO

4. IMAGEN DEL ACUIFERO DESEADO

4.1 ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Las principales tendencias que afectaran

Tendencia: Incremento de la población urbana.

En el futuro, la urbanización a nivel mundial será parte de los cambios sin precedentes en las nuevas formas de vida de la población (Roland Berger Institute, 2020). Habrá un crecimiento expansivo respecto a la urbanización global. El mundo seguirá albergando a una gran cantidad de población que reside, en su mayoría, en ciudades como consecuencia del incremento de las zonas urbanas; pese a que en el periodo 2019-2021, la COVID-19 generó cambios en los estilos de vida y en las preferencias de la población, donde muchos de ellos prefirieron migrar a zonas alejadas de la ciudad o a zonas suburbanas con estilos de vida asequibles.

Al 2050, se estima que 68 % de la población mundial vivirá en ciudades, y menos de 10 % vivirá en megaciudades (King, Reef, Bond, Pope, & Morrison Saunders, 2016; Roland Berger Institute, 2020). Además, se esperaría que la mayoría de la población urbana proceda de regiones menos desarrolladas (87 %), con un rango de edad entre 15 y 64 años y con una esperanza de vida promedio de 70 a 80 años de edad (Roland Berger Institute, 2020).

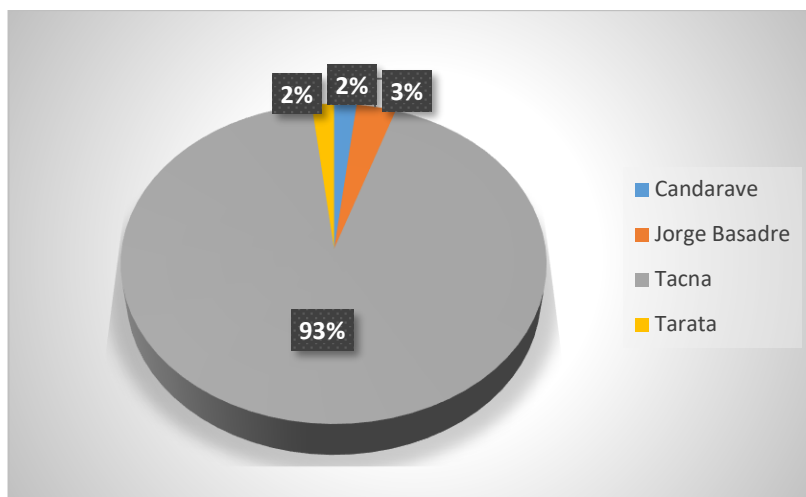
La tasa de crecimiento de la población de Tacna (2012-2021) ha sido de 4,9%, superior a la nacional, su tendencia es a un crecimiento acelerado como se muestra en la figura 54

Figura N. 55 Tacna, tendencia de crecimiento poblacional.



El 93% de la población vive en la provincia de Tacna y el 88% de la población del departamento de Tacna vive en zonas urbanas, principalmente en los distritos de la provincia de Tacna, como se observa en la siguiente Figura.

Figura N. 56 Tacna. Población por provincias.



El incremento acelerado de la población urbana, ocasionará una demanda mayor de agua para su abastecimiento, alterando el balance hídrico en el acuífero, debido a que la ocupación del distrito de La Yarada – Los Palos sigue la misma tendencia de crecimiento y se está convirtiendo en un polo de atracción para el desarrollo de actividades productivas y de comercio.

Tendencia: Cambio Climático y mayor escasez hídrica.

La escasez de recursos naturales se entiende como la insuficiente disposición de agua y tierra al que se enfrentará el mundo en los próximos años, pero que a su vez, se verá impulsando por la mayor demanda de energía renovable y el auge en el uso de materias primas; debido principalmente a la creciente presión poblacional y al aumento del poder adquisitivo (ingresos y riquezas); y, a la inadecuada e ineficiente extracción y aprovechamiento de los recursos (Bore & Rosa, 2019; Roland Berger Institute, 2020).

En el documento “Escenarios Climáticos para el 2050” (SENAMHI, 2021), se señala que se espera reducciones importantes de las precipitaciones que superan el 45 % en la sierra sur occidental, departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna. Esto afectará la disponibilidad de agua en general del departamento de Tacna y en particular, disminuirá la recarga del acuífero, proveniente de las precipitaciones y de la infiltración de agua superficial de los cauces de ríos y quebradas.

Para el 2035 la escasez hídrica en Tacna se incrementará, a valores menores a 300 m³/hab/año; la demanda de alimentos se incrementará en un 40% aproximadamente, lo que requerirá mayores áreas de producción agrícola y mayores demandas de agua.

El acuífero está en escasez hídrica permanente, el incremento de la escasez por efectos de la disminución de las precipitaciones o mayores demandas, generará inseguridad hídrica al no poder abastecer de agua todo el tiempo a la totalidad de la población, ni a los usos productivos. Esto tiene efectos en la salud y en el incremento de la pobreza de las poblaciones más vulnerables.

Tendencia: Incremento de la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

El rápido crecimiento de la población urbana, trae consigo otra tendencia relacionada a la disposición de las aguas residuales provenientes del consumo urbano y producto de las industrias.

Estas aguas residuales si no tienen un buen tratamiento y son dispuestas en cauces o en pozas, pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas.

En el caso del acuífero de La Yarada, la disposición de agua agro industrial provenientes de la producción de aceitunas en conserva o la producción de aceite, se ha incrementado siguiendo una tendencia a crecer; de otro lado el consumo de agroquímicos sin el debido cuidado, puede también contaminar las aguas del acuífero.

El incremento de la contaminación disminuye la disponibilidad de agua o hace que su tratamiento sea de mayor costo; esto incide en la seguridad hídrica y a la vez afecta a las poblaciones más vulnerables, incrementando la posibilidad de enfermedades y generando mayor pobreza.

Oportunidad: Disponibilidad de Tecnología de alta eficiencia de riego y para la producción

En la siguiente década, se evidenciará una fuerte influencia tecnológica, prácticamente en todas las actividades humanas (FIRES, 2017). Para 2030, el mundo estará más cerca de experimentar el tránsito de la actual cuarta revolución industrial (caracterizada por la convergencia tecnológica entre lo digital, analógico, biológico y de información y computacional que alteran, principalmente, el ámbito social y económico) hacia la quinta revolución, nueva era de la historia caracterizada específicamente por mayores avances en la inteligencia artificial, computación cuántica y virtualización (Glenn, 2019).

La disponibilidad de tecnología incrementa la eficiencia en el uso del agua, facilita el control de la extracción de uso de agua de los pozos y contribuye a disminuir la sobreexplotación del acuífero.

4.2 TENDENCIAS INSTITUCIONALES

Tendencia: Incremento de la desconfianza en los poderes del Estado.

La confianza en las instituciones podría entenderse como que las instituciones cumplirán su rol y funciones de manera correcta: en el caso del Perú más del 80% desconfía de los poderes del Estado y de los tres niveles de gobierno;

La desconfianza en los poderes del Estado, genera un incumplimiento de las normas e incrementa el nivel de ingobernabilidad de los recursos hídricos.

Tendencia: Inestabilidad social y disminución de la institucionalidad.

El desarrollo de un país se mide por la solidez de sus instituciones, estas son el entramado de un tejido social- político y económico que sirve de soporte para la vida de los ciudadanos. La institucionalidad es decir la solidez de sus instituciones, principalmente del sector público cada vez es más precaria. La gobernanza es producto del marco institucional y la gobernabilidad su

producto, por lo que, si disminuye la institucionalidad de un país, disminuye también sus niveles de gobernabilidad.

Tendencia: Corrupción como principal problema del país.

El 64,5% de ciudadanos considera que la corrupción es el principal problema del país. Una de cada tres personas afirma que ha tenido que pagar sobornos para acceder a un servicio público. La corrupción debilita las estructuras institucionales de la gobernanza y provoca pérdida de gobernabilidad, sobre todo cuando se trata de un recurso público fundamental como es el agua, que está sujeto a intereses y a altos niveles de corrupción.

Oportunidad. Incremento de la participación institucional y ciudadana para buscar soluciones.

La participación ciudadana puede entenderse como los sistemas o mecanismos por los cuales los ciudadanos, la sociedad civil en su conjunto, pueden tomar parte o incidir en las decisiones públicas. Los Consejos de Recursos Hídricos son en su esencia mecanismos del SNGRH para la participación ciudadana por lo que son una oportunidad para mejorar la gobernabilidad. La disposición de todos los actores de buscar soluciones al problema del acuífero Caplina contribuye a mejorar el buen gobierno del acuífero.

4.3 ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPORTUNIDADES

Los principales riesgos que se presentan son:

Riesgo de sequía.

La amenaza de reducción de la cantidad de precipitaciones en la zona de recarga del acuífero, se estableció como una tendencia provocada por el cambio climático y que puede afectar entre un 10% a 40% de disminución del volumen de agua precipitada.

La vulnerabilidad mide el grado de susceptibilidad o de incapacidad que puede presentar un sistema (persona, estructura física o actividad socioeconómica) para afrontar los efectos adversos de eventos extremos, en la cuenca el 42% de la población es vulnerable a sequías, mientras que solo el 3% es vulnerable a inundaciones.

La ubicación de la cuenca y la zona de recarga del acuífero, en la cabecera del desierto de Atacama incrementa la vulnerabilidad y por consiguiente el riesgo de sequías.

Riesgo. Disminución de la Institucionalidad e inestabilidad social

La disminución de la institucionalidad en el país ha generado una desconfianza y no aceptación de la autoridad de los diversos organismos del Estado; esto genera inestabilidad social que en algunos casos llega a la violencia contra instituciones del Estado o contra los bienes de uso público.

Riesgo. Incremento de la corrupción

La corrupción se ha instaurado como el principal problema del país. La corrupción corroe las estructuras institucionales y fomenta la informalidad y las ocupaciones ilegales del territorio y el aprovechamiento ilegal o informar de los bienes de carácter público.

4.4 FORMULACIÓN DE ESCENARIOS

Los escenarios describen una secuencia hipotética de hechos que pueden conducir a una situación futura, nos describe lo que pasaría en un futuro si dejamos de hacer o ejecutamos una serie de actividades o acciones que puedan llevarnos a un futuro deseado.

Se desarrolla en función de las tendencias las cuales tienen una condición de certeza o incertidumbre.

Para el desarrollo de escenarios se ha establecido una matriz de impactos sobre las variables prioritarias y medidas posibles de ejecutar para mitigar su impacto en el caso de tendencias y riesgos o para facilitar su implementación en el caso de las oportunidades, las matrices que se presentan a continuación son producto de los talleres desarrollados con el grupo de trabajo que elabora el Plan de Gestión del acuífero.

Impactos de las tendencias y oportunidades sobre las variables y medidas propuestas

Tabla N. 16 Impactos de las tendencias sobre la variable Seguridad Hídrica para la Población y la agricultura

Variable	Tendencia/Oportunidades	Impactos sobre la variable prioritaria	Medidas
SEGURIDAD HÍDRICA PARA LA POBLACION Y LA AGRICULTURA	Incremento de la Población urbana	El incremento acelerado de la población urbana, ocasiona una demanda mayor de agua para su abastecimiento, alterando el balance hídrico en el acuífero	Estudiar nuevas fuentes de agua
			Optimizar el agua de uso poblacional mediante micromedición
			Reusar el agua de uso poblacional para recarga del acuífero
	Mayor Escasez Hídrica, por sobre explotación del acuífero	El acuífero esta en escasez hídrica permanente, el incremento de la escasez por efectos de la disminución de las precipitaciones o mayores demandas, generará inseguridad hídrica al no poder abastecer de agua todo el tiempo a la totalidad de la población. Esto tiene efectos en la salud y en el incremento de la pobreza de las poblaciones más vulnerables.	Declarar en emergencia hídrica el acuífero Caplina
			Controlar el uso de agua con medidores en pozo en tiempo real
			Control de perforaciones de pozos (vigilancia)
			Plan de cultivos de menor consumo de agua
	Incremento de la contaminación, por intrusión marina y actividades antrópicas	El incremento de la contaminación disminuye la disponibilidad de agua o hace que su tratamiento sea de mayor costo; esto incide en la seguridad hídrica y a la vez afecta a las poblaciones más vulnerables, incrementando la posibilidad de enfermedades y generando mayor pobreza.	Implementar Proyectos de recarga del acuífero
			Plantas piloto de ósmosis inversa con agua proveniente de pozos contaminados y uso de energía solar
			Trasvase de agua de nuevas fuentes
	Disponibilidad de Tecnología de alta eficiencia de riego y para la producción	La disponibilidad de tecnología facilita el control de la extracción de uso de agua de los pozos y contribuye a disminuir la sobreexplotación del acuífero.	Rerdenamiento de pozos, en relación al uso del territorio
			Tecnificación obligatoria del riego
Electrificación de los sistemas de bombeo			
Uso de tecnología de uso eficiente (tensiómetros, dendrómetros, sensores de humedad de suelo, etc)			
			Uso de hidrogel u otros retenedores de agua naturales.

Tabla N. 17 Impactos de las tendencias sobre la variable sostenibilidad Económica

Variable	Tendencia/Oportunidades	Impactos sobre la variable prioritaria	Medidas
SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA	Incremento de la Población urbana	El incremento de la población urbana, ocasiona una mayor demanda de agua para la población, afectando la disponibilidad del uso agrario.	Plan de ordenamiento del territorio (uso de los suelos) Implementación de medidas de planificación Urbana Micromedición en el uso urbano
	Mayor Escasez Hídrica, por sobre explotación del acuífero	La sobreexplotación ocasionará la disminución de la disponibilidad de agua afectando la producción y productividad, a largo plazo si continúa la tendencia, la actividad agrícola se hará insostenible	Reordenamiento de pozos para estabilizar el acuífero Caudalímetros en tiempo real para el uso agrario.
	Incremento de la contaminación, por intrusión marina y actividades antrópicas	La intrusión marina afecta la disponibilidad de agua para la producción agrícola, por mala calidad de agua, principalmente en los pozos más cercanos a la línea de playa.	Monitoreo participativo de calidad de aguas Mejoramiento del tratamiento de aguas de las PTAR con fines de recarga (tratamiento avanzado) Tratamiento obligatorio de aguas residuales industriales. Implementación de proyectos para recarga del acuífero Instalación de módulo piloto de desalinización Estudios de profundidad para evaluar reservas
	Disponibilidad de Tecnología de alta eficiencia de riego y para la producción	La disponibilidad de tecnología elevará la productividad del agua incrementando la rentabilidad de los cultivos.	Implementación de tecnología de alta eficiencia de riego Política regional de incentivos al uso eficiente Política Regional para el cambio tecnológico en agricultura, principalmente en riego Planes de Cultivo y Riego de acuerdo a las demandas de los cultivos Implementar cultivos de bajo consumo de agua y mayor rentabilidad Implementación de tecnología de cultivos bajo invernaderos

Tabla N. 18 Impactos de las tendencias sobre la variable Ordenamiento Territorial y de los Recursos Hídricos

Variable	Tendencia/Oportunidades	Impactos sobre la variable prioritaria	Medidas
ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	Incremento de la Población urbana	El incremento de la población genera demandas de ocupación del territorio para vivienda y para la producción agraria, la cual se puede desarrollar de manera desordenada, aperturando nuevos pozos incrementando la sobreexplotación del acuífero.	Desarrollar e implementar la planificación territorial, a cargo del Gobierno Regional, la Municipalidad Provincial y municipalidad Distrital Desarrollar el Plan Director de la Yarada
	Mayor Escasez Hídrica, por sobre explotación del acuífero	La mayor escasez hídrica impedirá el desarrollo del territorio, al no posibilitar el otorgamiento de servicios de saneamiento o el uso agrario para las áreas ocupadas, provocando a largo plazo el cambio de uso del territorio.	Desarrollar proyectos de recarga del acuífero teniendo en cuenta el ordenamiento del territorio y la planificación Urbana.
	Incremento de la contaminación, por intrusión marina y actividades antrópicas	El deterioro de la calidad afecta la ocupación del territorio para poblaciones o para agricultura; eleva los costos de los servicios básicos de agua potable y para el uso agrario.	Disminuir la extracción de agua del acuífero, disminuyendo la cantidad de pozos Ordenar y controlar la agroindustria y sus desechos contaminantes. Cambiar el uso de bombas con combustibles fósiles al uso de energías sostenibles (eléctrica, solar, etc)

Tabla N. 19 Impactos de las tendencias sobre la variable Gobernabilidad

Variable	Tendencia/Oportunidades	Impactos sobre la variable prioritaria	Medidas
GOBERNABILIDAD	Incremento de la desconfianza en los poderes del Estado	La confianza en las instituciones podría entenderse como que las instituciones cumplan su rol y funciones de manera correcta: en el caso del Perú más del 80% desconfía de los poderes del Estado y de los tres niveles de gobierno; en el caso referido al SNGRH esta desconfianza incrementa el nivel de ingobernabilidad de los recursos hídricos.	Declarar en emergencia hídrica el acuífero de la Yarada e instaurar el comité de gestión del acuífero Caplina. Transparencia en los actos de decisión y gestión del acuífero.
	Inestabilidad social y Disminución de la Institucionalidad	El desarrollo de un país se mide por la solidez de sus instituciones, estas son el entramado de un tejido social político y económico que sirve de soporte para la vida de los ciudadanos. La institucionalidad es decir la solidez de sus instituciones, principalmente del sector público cada vez es más precaria. La gobernanza es producto del marco institucional y la gobernabilidad su producto, por lo que si disminuye la institucionalidad de un país, disminuye también sus niveles de gobernabilidad.	Establecer que, la carrera pública sea por méritocracia para estabilidad institucional
	Corrupción como principal problema del país	El 64,5% de ciudadanos considera que la corrupción es el principal problema del país. Una de cada tres personas afirma que a tenido que pagar sobornos para acceder a un servicio público. La corrupción debilita las estructuras institucionales de la gobernanza y provoca pérdida de gobernabilidad, sobre todo cuando se trata de un recurso público fundamental como es el agua, que está sujeto a intereses y a altos niveles de corrupción.	Instalación de gobierno electrónico, para la gestión del acuífero. Participación efectiva de la sociedad civil organizada en las gestiones de las entidades públicas (comité de gestión del acuífero como un comité de vigilancia).
	Incremento de la participación institucional y ciudadana para buscar soluciones	La participación ciudadana puede entenderse como los sistemas o mecanismos por los cuales los ciudadanos, la sociedad civil en su conjunto, pueden tomar parte o incidir en las decisiones públicas. Los Consejos de Recursos Hídricos son en su esencia mecanismos del SNGRH para la participación ciudadana por lo que son una oportunidad para mejorar la gobernabilidad. La disposición de buscar soluciones al problema del acuífero Caplina contribuye a mejorar el buen gobierno del acuífero.	Institucionalizar la participación de la sociedad civil organizada: dinámica, permanente y transparente.

Impacto de los riesgos sobre las variables y medidas a propuestas

Tabla N. 20 Impactos de los riesgos sobre la variable Seguridad Hídrica para la Población y la Agricultura

Variable	Riesgos	Impactos sobre la variable prioritaria	Medidas
SEGURIDAD HÍDRICA PARA LA POBLACION Y LA AGRICULTURA	Sequía	La vulnerabilidad mide el grado de susceptibilidad o de incapacidad que puede presentar un sistema (persona, estructura física o actividad socioeconómica) para afrontar los efectos adversos de eventos extremos, en la cuenca el 42% de la población es vulnerable a sequías, mientras que solo el 3% es vulnerable a inundaciones. La ubicación de la cuenca, en la cabecera del desierto de Atacama incrementa la vulnerabilidad y por consiguiente el riesgo de sequías.	Elaborar y aplicar planes de contingencia, oportunamente Declaración de estado de emergencia por estrés hídrico
	Disminución de la Institucionalidad e inestabilidad social	La disminución de la institucionalidad ha provocado que el asentamiento de las poblaciones sea desordenado en el área del acuífero y que se perforen pozos , extrayendo agua sin control, generando inseguridad hídrica para los usos legales y para los pobladores.s.	Restituir el principio de autoridad de la ANA Control con participación de usuarios Aplicar medidas extraordinarias Creación de autoridad de La Yarada
	Incremento de la corrupción	El incremento de la corrupción para acceder a la tierra y al agua deteriora la institucionalidad y favorece a la insostenibilidad del uso dela gua en acuífero.	Sistema de denuncias de actos de corrupción Control Social (comité de monitoreo yvigilancia del acuífero) Implementar mecanismos de transparencia de la información de uso de agua en el acuífero. Establecer mecanismos de meritocracia para la designación de funcionarios

Tabla N. 21 Impacto de los riesgos sobre la variable Sostenibilidad Económica

Variable	Riesgos	Impactos sobre la variable prioritaria	Medidas
SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA	Sequía	La vulnerabilidad mide el grado de susceptibilidad o de incapacidad que puede presentar un sistema (persona, estructura física o actividad socioeconómica) para afrontar los efectos adversos de eventos extremos, en la cuenca el 42% de la población es vulnerable a sequías, mientras que solo el 3% es vulnerable a inundaciones. La ubicación de la cuenca, en la cabecera del desierto de Atacama incrementa la vulnerabilidad y por consiguiente el riesgo de sequías.	Programa de afianzamiento hídrico a corto y mediano plazo
			Cumplimiento de la Veda del acuífero
			Monitoreo con tecnología de información (Imágenes de satélite, aerofotografías, drones, etc.)
Inestabilidad social y Disminución de la Institucionalidad	La sobreexplotación ocasionará la disminución de la disponibilidad de agua afectando la producción y productividad, a largo plazo si continúa la tendencia, la actividad agrícola se hará insostenible	Ordenamiento del territorio y del uso del agua.	Programa de fortalecimiento a organizaciones de usuarios.
			Incremento de la corrupción

Tabla N. 22 Impacto de los riesgos sobre la variable Ordenamiento Territorial y de los Recursos Hídricos

Variable	Riesgos	Impactos sobre la variable prioritaria	Medidas
ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	Sequía	El incremento de la población genera demandas de ocupación del territorio para vivienda y para la producción agraria, la cual se puede desarrollar de manera desordenada, aperturando nuevos pozos incrementando la sobreexplotación del acuífero.	Programa de sensibilización en el uso eficiente del agua
			Ordenamiento de lo pozos
			Planes de aprovechamiento de disponibilidades hídricas del acuífero
Disminución de la Institucionalidad e inestabilidad social	La disminución de la institucionalidad que pueda ordenar el uso del territorio y los conflictos de intereses provocados en cuanto al uso de los suelos y del agua, genera inestabilidad social y dificulta el ordenamiento del territorio, por parte de las instituciones y agrava la extracción de agua en pozos no autorizados.	Fortalecimiento del Consejo de Cuenca y el Grupo técnico de trabajo denominado "Comité de gestión del acuífero Caplina)	Empoderamiento de las instituciones competentes a través de regulaciones y financiamiento
			Incremento de la corrupción

Tabla N. 23 Impactos de los riesgos sobre la Gobernabilidad

Variable	Riesgos	Impactos sobre la variable prioritaria	Medidas		
GOBERNABILIDAD	Sequía	La sequía puede generar competencia por el uso del agua entre los operadores de infraestructura que dan servicio a la población y los agricultores que utilizan el agua subterránea, generando ingobernabilidad.	Coordinación entre instituciones operadoras y proponer diálogo o medida cautelar		
			Disminución de la Institucionalidad e inestabilidad social	La institucionalidad no ha logrado ordenar el uso del territorio y del agua del acuífero Caplina, la debilidad institucional provoca inestabilidad social y pérdida de gobernabilidad	Respetar los instrumentos técnicos de plan de Z.E.E., Ordenamiento territorial y P.D.U.
			Incremento de la corrupción	El 64,5% de ciudadanos considera que la corrupción es el principal problema del país. Una de cada tres personas afirma que a tenido que pagar sobornos para acceder a un servicio público. La corrupción debilita las estructuras institucionales de la gobernanza y provoca pérdida de gobernabilidad, sobre todo cuando se trata de un recurso público fundamental como es el agua, que está sujeto a intereses y a altos niveles de corrupción.	Mejorar el nivel de los funcionarios a nivel ético. Incrementar penas por corrupción y sanciones administrativas.

4.5 CONSTRUCCIÓN DE LOS ESCENARIOS

Para el horizonte de planificación al año 2035, se han determinado, las tendencias, riesgos y oportunidades y su afectación a la seguridad hídrica; con ellas se ha construido tres escenarios, los cuales se describen a continuación:

1. **Escenario actual**, en el cual se mantienen las condiciones actuales es decir no se interviene en el acuífero. En este escenario el acuífero colapsaría, incrementándose la inseguridad hídrica de los usuarios actuales del acuífero y del departamento de Tacna, teniendo en consideración que el área agrícola de La Yarada es una de las más importantes de la región. Este escenario es altamente probable si no se llegan a acuerdos para la sostenibilidad del acuífero.
2. **Escenario óptimo**. En este escenario se implementan todas las acciones de protección, conservación y recarga del acuífero, los usuarios entienden que se tiene que se debe de reducir áreas de cultivo hasta encontrar el equilibrio del acuífero, se logra la aceptación de las normas y de las instituciones. Este escenario esta entre improbable y posible.
3. **Escenario realista**. En este escenario se implementa las acciones y proyectos del Plan de Gestión y se llega a acuerdos para la conservación del acuífero en cuanto a: la vigilancia, recarga y aceptación de la institucionalidad encargada de su ejecución. En este escenario se mantienen en un nivel moderado la inseguridad hídrica del acuífero; su nivel de probabilidad está entre posible y probable.

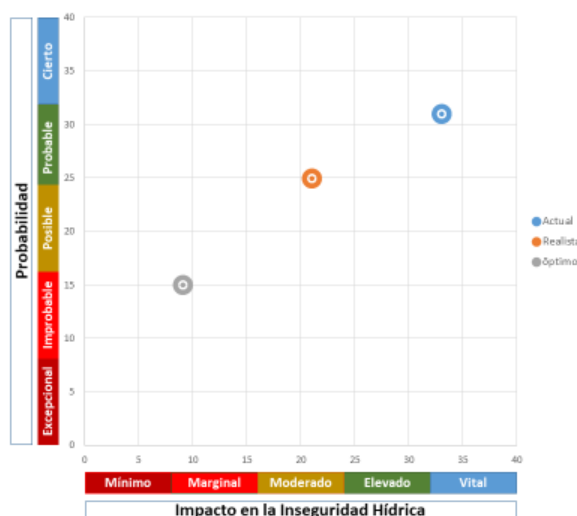
Para determinar los escenarios se valorizó las tendencias, riesgos y oportunidades de cero a cinco en función a su probabilidad de ocurrencia, la incertidumbre y el grado de impacto en impulsar o mantener la inseguridad hídrica de las actividades que hacen uso del agua del acuífero.

El resultado se muestra en el siguiente cuadro, el cual fue graficado en ejes cartesianos para una mejor comprensión.

Tabla N. 24 Matriz de evaluación de escenarios

	Tendencias, Riesgos y oportunidades	Escenario 1 (actual)		Escenario 2 (realista)		Escenario 3 (óptimo)	
		Probabilidad	Impacto en la Inseguridad Hídrica	Probabilidad	Impacto en la Inseguridad Hídrica	Probabilidad	Impacto en la Inseguridad Hídrica
Tendencias/ Riesgos	Incremento de la población urbana	5	4	5	3	5	2
	Mayor escasez hídrica por sobre explotación del acuífero	5	5	3	2	1	1
	Incremento de la contaminación del agua	4	3	3	2	1	1
	Incremento de la desconfianza en poderes del Estado	4	3	3	3	2	1
	Inestabilidad social y disminución de la institucionalidad	4	4	3	3	1	0
	Incremento de la Corrupción	4	4	2	2	2	1
No aprovechamiento de las Oportunidades	Disponibilidad de tecnología	4	4	3	3	2	2
	Incremento de la participación para la solución de problemas	3	4	3	3	1	1
	Total Calificación	33	31	25	21	15	9

Figura N. 57 Valoración de escenarios.



El futuro deseado de las variables prioritarias

Para lograr una visión integral se ha desarrollado visiones por cada una de las variables seleccionadas; las cuales se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla N. 25 Visión de las variables estratégicas

VARIABLE	VISIÓN AL 2035
SEGURIDAD HÍDRICA PARA LA POBLACION Y LA AGRICULTURA	Al 2035 el acuífero se mantiene en equilibrio y con buena calidad de agua.
SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA	Al 2035 se ha conseguido la sostenibilidad de las actividades económicas que utilizan el agua del acuífero como fuente principal.
ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	Al 2035 el territorio de la Yarada se encuentra ordenado, saneado físicamente, con la utilización solo de pozos autorizados, para el consumo humano y para la producción agrícola de exportación.
GOBERNABILIDAD	Al 2035 se gestiona el acuífero con normas adecuadas y con una institucionalidad reconocida y respetada.

Visión del Plan de Gestión del Acuífero al 2035

La visión del Plan de Gestión del Acuífero, se ha construido sobre la base de las visiones de las variables estratégicas. La visión se describe como:

AL 2035 EL ACUÍFERO CAPLINA EN EQUILIBRIO, ES GESTIONADO POR UNA INSTITUCIONALIDAD RESPETADA Y RECONOCIDA, DANDO SEGURIDAD HÍDRICA A LA POBLACIÓN Y LOS USOS PRODUCTIVOS EN UN TERRITORIO ORDENADO, CON SU POBLACIÓN Y PRODUCTORES UTILIZANDO DE MANERA EFICIENTE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y PARTICIPANDO ACTIVAMENTE EN LA GESTIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE.

5. LINEAMIENTOS

Los lineamientos que regirán la implementación del Plan de Gestión del acuífero son los siguientes:

1. Se reservará agua del acuífero para el desarrollo de los centros poblados y el crecimiento de la población, mientras no se atienda el uso poblacional con las aguas provenientes de la planta de desalación.
2. El ordenamiento territorial, es condición para el ordenamiento de los pozos.
3. Todas las áreas agrícolas se irrigarán con sistemas de riego de alta eficiencia.
4. Todos los pozos deberán tener sistemas de medición en tiempo real.
5. Se desarrollará un plan anual de aprovechamiento de los recursos hídricos del acuífero, el cual equilibrará la oferta y la demanda.
6. Las aguas de las PTAR se utilizarán, en convenio con la EPS, para el uso de las áreas agrícolas de La Yarada o para la recarga del acuífero.
7. No se podrá perforar pozos como mínimo a 1,5 kms de distancia de la línea de playa, pudiendo ser más de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial y al Plan de Ordenamiento de los recursos hídricos.

6. OBJETIVO ESTRATÉGICO, OBJETIVOS ESPECÍFICOS, ACCIONES ESTRATÉGICAS, PROGRAMAS Y PROYECTOS

6.1 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS Y RESULTADOS

Objetivo estratégico n° 1

El acuífero Caplina se encuentra en equilibrio entre la oferta y la demanda

Indicador

Porcentaje del agua extraída del acuífero con respecto a la recarga es igual o menor al 100%

Línea Base del Indicador

En la actualidad se extrae el 343% de agua, con respecto a la recarga

Resultados del objetivo estratégico n° 1

Resultado 1.1

Se reduce el número de pozos ilegales que extraen agua del acuífero

Indicador

Porcentaje de pozos ilegales reducidos, con respecto a la línea base

Línea Base del Indicador

En la actualidad se han inventariado 790 pozos ilegales, de los cuales no se ha reducido ninguno.

Resultado 1.2

Se disminuye la extracción de agua del acuífero

Indicador

Porcentaje de reducción del volumen de extracción de agua con respecto al agua sobre explotada.

Línea Base del indicador

En la actualidad se sobre explota en el acuífero un total de 139,1 hm³, de los cuales no se ha reducido la sobreexplotación.

Resultado 1.3

Se incrementa la eficiencia de riego de los productores del acuífero

Indicador

Eficiencia de uso de agua de riego

Línea Base del indicador

La eficiencia de riego de los agricultores en la actualidad es de 45%.

Resultado 1.4

Se incrementa la recarga del acuífero

Indicador

Porcentaje de incremento de la recarga del acuífero con respecto a la recarga actual.

Línea base

En la actualidad no se han desarrollado acciones para la recarga del acuífero, que incrementan el volumen.

Objetivo estratégico n° 2

El acuífero cuenta con agua de buena calidad para la categoría ECA 1 A2

Indicador

Porcentaje de pozos con Índice de Calidad Ambiental de Recursos Hídricos (ICARH) bueno

Línea Base del indicador

En la actualidad el 95% de pozos tienen un ICARH bueno

Resultados del objetivo estratégico n° 2

Resultado 2.1

Se reduce la intrusión marina

Indicador

Reducción de la cuña marina

Línea Base

En la actualidad la cuña marina llega a 9 km de intrusión hacia el continente.

Resultado 2.2

Se reduce los vertimientos contaminantes al acuífero

Indicador

Porcentaje de reducción de vertidos contaminantes al acuífero con respecto a la línea base

Línea Base

En la actualidad se han inventariado 808 fuentes contaminante, de las cuales 790 provienen de pozos que utilizan combustibles fósiles y 18 de plantas agroindustriales.

Objetivo estratégico n° 3

El territorio y el uso del agua se encuentran ordenados de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial y del Plan de Aprovechamiento.

Indicador

Porcentaje de ordenamiento del territorio ejecutado con respecto al Plan de Ordenamiento Territorial.

Línea Base

En la actualidad se cuenta con dos instrumentos de ordenamiento del territorio el Plan de Acondicionamiento Urbano Provincial y el Plan de Desarrollo Urbano del Distrito de La Yarada – Los Palos; sin embargo, la línea base se refiere a un nuevo Plan de Ordenamiento del Territorio que debe ser elaborado.

Resultados del objetivo estratégico n° 3

Resultado 3.1

Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos Implementado

Indicador

Porcentaje del Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos Implementado

Línea Base

En la actualidad no se cuenta con un Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos del Acuífero relacionado al Ordenamiento del Territorio.

Resultado 3.2

El área para uso urbano, agrario, industrial, de recreación y equipamiento urbano está formalizada de acuerdo al POT.

Indicador

Porcentaje de área formalizada con respecto al total a formalizar establecida en el POT

Línea Base

En la actualidad existen más de 20000 has con uso y ocupación informal.

Resultado 3.3

Derechos de agua formalizados con respecto al Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos.

Indicador

Porcentaje de derechos de agua formalizados con respecto al Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos

Línea Base

En la actualidad existen 790 pozos que extraen agua sin derecho.

Objetivo n° 4

El acuífero se gestiona de manera sostenible.

Indicador

Porcentaje de Cumplimiento del Plan de Gestión del acuífero

Línea Base

Aún no se ha aprobado el Plan de Gestión del Acuífero Caplina, por lo que la línea de base es 0%.

Resultados del objetivo estratégico n° 4

Resultado 4.1

Comité de gestión del acuífero Funcionando

Indicador

Porcentaje de acuerdos del comité de gestión del acuífero (grupo de trabajo del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca) implementados.

Línea Base

El comité aún no ha iniciado sus funciones

Resultado 4.2

Reglamento del acuífero en cumplimiento por todas las instituciones y usuarios.

Indicador

Porcentaje de infracciones al reglamento con respecto al total de usuarios debe ser menor o igual al 5%

Línea Base

Aún no se ha implementado el reglamento del acuífero

Resultado 4.3

Sistema de vigilancia del acuífero implementado y funcionando

Indicador

Porcentaje de informes de vigilancia con respecto a lo programado anualmente.

Línea Base

Aún no se cuenta con un sistema de vigilancia del acuífero

Resultado 4.4

Sistema de información de recursos hídricos (recarga, usos, niveles, calidad de agua) implementado

Indicador

Porcentaje de reportes mensuales de Información de volúmenes de extracción, niveles del acuífero, intrusión marina, balance, etc. Difundidos

Línea Base

En la actualidad no se elaboran reportes del estado del acuífero ni su aprovechamiento, por lo que la línea de base es 0%.

6.2 CRONOGRAMA DE PROGRAMAS Y PROYECTOS

Tabla N. 26 Cronograma de Proyectos y actividades del Objetivo N° 1

Objetivo N° 1	Resultado	Programas, Proyectos Actividades	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
El acuífero Caplina se encuentra en equilibrio entre la oferta y la demanda	Se reduce el número de pozos ilegales que extraen agua del acuífero	Reordenamiento de pozos														
		Programa de comunicación y sensibilización														
	Se disminuye la extracción del agua del acuífero	Implementar anualmente el PADH														
		Sistema de medición y control en tiempo real de válvulas en pozos (instalación obligatoria de caudalímetros)														
		Promoción de cultivos de bajo consumo de agua														
		Reducción de áreas sembradas.														
	Se incrementa la eficiencia de riego de los productores del acuífero	Sistema de asesoramiento en riego.														
		Uso obligatorio de riego de alta eficiencia.														
		Promoción de tecnologías de riego de precisión.														
	Se incrementa la recarga del acuífero	Reuso de aguas del uso poblacional (17 hm3)														
		PIP Recarga natural del acuífero (17 hm3)														
		Planta desalinizadora de agua para uso poblacional y reuso de agua (31 hm3).														
		Trasvase de la cuenca Locumba (30 hm3)														
Trasvase de agua del río Maure (9.5 hm3)																

Tabla N. 27 Cronograma de Proyectos y actividades del Objetivo N° 2

Objetivo N° 2	Resultado	Programas, Proyectos, Actividades	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
El acuífero cuenta con agua de buena calidad ECA 1 A2	Se reduce la intrusión marina	Planta Piloto de desalinización (universidad)														
		Barrera hidráulica negativa (planta desalinizadora)														
		Cierre de pozos en línea costera														
	Se reduce los vertimientos contaminantes al acuífero	Construcción PTAR Pueblo Libre														
		Construcción PTAR Magollo														
		Construcción PTAR Industriales														
		Electrificación de pozos														

Tabla N. 28 Cronograma de Proyectos y actividades del Objetivo N° 3

Objetivo N° 3	Resultado	Programas, Proyectos, Actividades	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
El territorio se encuentra ordenado de acuerdo al POT	Plan de ordenamiento de los Recursos Hídricos Implementado	Formulación del Plan de ordenamiento de recursos hídricos													
		Aprobación del Plan de ordenamiento de RR HH (D. S.)													
		Implementación del Plan de ordenamiento de RRHH													
		Monitoreo y vigilancia de la implementación del Plan													
	El área para uso urbano, agrario, industrial, de recreación y equipamiento urbano está formalizada de acuerdo al POT	Elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial													
		Aprobación del POT													
		Implementación del POT													
		Adecuación de base legal para el saneamiento													
		Proyecto de saneamiento físico legal de las áreas agrícolas y urbanas; sobre la base de compromisos													
		Implementación del proyecto de saneamiento.													
	Derechos de agua formalizados con respecto al Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos	Preparación de los instrumentos legales													
		Plan de Formalización de acuerdo al PORRHH y al POT													
		Implementación del Plan de Formalización													

DOCUMENTO DE TRABAJO

Tabla N. 29 Cronograma de Proyectos y actividades del Objetivo N° 3

Objetivo N° 4	Resultado	Programas, Proyectos, Actividades	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
El acuífero se gestiona de manera sostenible	Comité de gestión del acuífero Funcionando	Conformación del Comité de Gestión del acuífero													
		Implementación del Comité de Gestión del acuífero													
		Funcionamiento del Comité													
	Reglamento del acuífero en cumplimiento por todas las instituciones y usuarios	Elaboración de Reglamento del acuífero													
		Publicación del Reglamento													
		Aprobación del Reglamento													
		Implementación del Reglamento del acuífero													
	Sistema de vigilancia del acuífero implementado y funcionando	Seguimiento de infracciones al reglamento													
		Conformar el comité de vigilancia con la participación de las asociaciones agrarias.													
		Implementar plataforma tecnológica de vigilancia													
		Monitoreo de niveles (piezómetros)													
		Monitoreo de calidad de agua													
	Sistema de información de recursos hídricos (recarga, usos, niveles, calidad de agua) implementado	Implementar sistema de denuncias y respuesta rápida													
		Implementación de Plataforma de información													
		Desarrollo de Estrategia de comunicación													
		Desarrollo de aplicativo de información para celular													
			Información en medios de comunicación y redes												

6.3 PRIORIZACIÓN DE OBJETIVOS, PROGRAMAS Y PROYECTOS

CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN DE OBJETIVOS

Para establecer las prioridades en el proceso de ejecución de los programas y proyectos se elaboró una matriz de doble entrada denominada matriz de influencia, que permite establecer los factores de mayor influencia (activos), los factores críticos, los factores inertes y los factores pasivos.

Para la priorización se han establecido los cuatro objetivos, como factores.

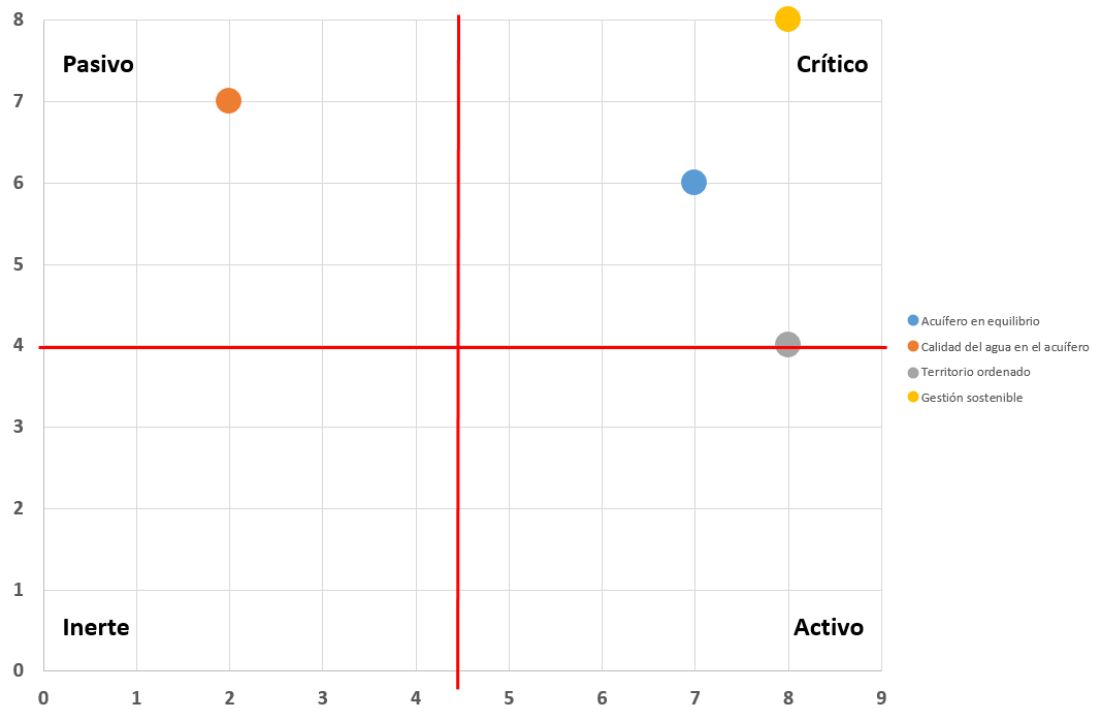
La matriz de influencia desarrollada se muestra en la tabla siguiente:

Tabla N. 30 Priorización de Objetivos

Factor		A	B	C	D	ΣSA
A	Acuífero en equilibrio		2	1	3	6
B	Calidad del agua en el acuífero	0		1	2	3
C	Territorio ordenado	3	2		3	8
D	Gestión sostenible	3	3	2		8
ΣSP		6	7	4	8	
$SA * SP$		36	21	32	64	

La figura siguiente nos muestra el grado de influencia y prioridad de los factores. Los factores que más influyen en el sistema son el ordenamiento del territorio y la gestión sostenible del acuífero; sin embargo, hay que destacar que la gestión del territorio es también el factor más crítico, porque a la vez que influye es también, altamente influido, otro factor crítico es el acuífero en equilibrio, porque depende del ordenamiento del territorio y de que se incrementen el nivel de gestión. Hay que señalar que este factor también tiene un nivel de influencia alto sobre la sostenibilidad del sistema en su conjunto. El factor calidad de agua es altamente influido, pero no influye mucho en el sistema.

Figura N. 58 Priorización de objetivos del sistema.



Como conclusión se puede señalar, que hay que desarrollar primero las acciones de ordenamiento del territorio, sin embargo, para ello hay que desarrollar también acciones que fortalezcan el nivel de gestión. El ordenamiento de los recursos hídricos no puede desarrollarse antes del ordenamiento del territorio, para lo cual se tiene que establecer niveles de gestión adecuados, a través del comité de gestión del acuífero.

DOCUMENTO DE

6.4 PROGRAMAS Y PROYECTOS PRIORIZADOS

De acuerdo a lo anteriormente señalado, la prioridad temporal y de inversiones, para lograr la visión establecida, sería la siguiente:

Primera prioridad

1. Conformar el comité de gestión del acuífero.
2. Aprobar el reglamento del acuífero
3. Conformar el comité de vigilancia del acuífero.
4. Desarrollar la estrategia de comunicación.
5. Preparar y gestionar la aprobación de los instrumentos legales.
6. Formulación del Plan de ordenamiento territorial y reducir áreas de cultivo.
7. Implementar el Plan de ordenamiento del territorio.
8. Saneamiento físico legal.
9. Elaborar e implementar el proyecto de desalinización de agua y las PTAR para la recarga del acuífero.
10. Desarrollar e implementar el PIP de recarga del acuífero por fuentes naturales.
11. Elaborar el Plan de ordenamiento de los recursos hídricos.
12. Reordenamiento de los pozos, cierre de pozos de línea costera.
13. Desarrollar e implementar
14. Utilización de aguas residuales del uso poblacional para recarga del acuífero.

Segunda prioridad

1. Monitoreo de niveles piezométricos
2. Monitoreo de la calidad del agua.
3. Implementación de la plataforma de información.
4. Implementar el Plan de ordenamiento de los recursos hídricos.
5. Desarrollar los estudios para una barrera hidráulica negativa.

Tercera prioridad

1. Los demás proyectos y actividades programadas

7 CRONOGRAMA DE INVERSIONES

Objetivo N° 1	Resultado	Programas, Proyectos Actividades	Costo													
			aproximado	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
El acuífero Caplina se encuentra en equilibrio entre la oferta y la demanda	Se reduce el número de pozos ilegales que extraen agua del acuífero	Reordenamiento de pozos	7000000		1500000	3000000	2000000	500000								
		Programa de comunicación y sensibilización	500000	10000	100000	190000	100000	100000								
		Implementar anualmente el PADH	6000000		50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000
	Se disminuye la extracción del agua del acuífero	Sistema de medición y control en tiempo real de válvulas en pozos (instalación obligatoria de caudalímetros)	8000000			2000000	2000000	2000000	2000000							
		Promoción de cultivos de bajo consumo de agua	1500000		10000	150000	150000	150000	150000	150000	150000	150000	150000	120000	120000	50000
		Reducción de áreas sembradas.	1000000		1000000	200000	200000	200000	200000	100000						
		Sistema de asesoramiento en riego.	12000000		3000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000		
	Se incrementa la eficiencia de riego de los productores del acuífero	Uso obligatorio de riego de alta eficiencia.	232000000				30000000	30000000	40000000	50000000	30000000	30000000	22000000			
		Promoción de tecnologías de riego de precisión.	5000000		500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	500000	300000	200000		
		Reuso de aguas del uso poblacional (17 hm3)	2000000		200000	300000	500000	500000	500000							
	Se incrementa la recarga del acuífero	PIP Recarga natural del acuífero (17 hm3)	6000000		500000	2500000	2500000	500000								
		Planta desalinizadora de agua para uso poblacional y reuso de agua (31 hm3).	800000000			20000000	300000000	300000000	180000000							
		Trasvase de la cuenca Locumba (30 hm3)	300000000		1000000	1500000	100000000	80000000	60000000	57000000	500000					
		Trasvase de agua del río Maure (9.5 hm3)	500000000		1000000	1500000	20500000	20000000	7000000							
		TOTAL	1425600000	10000	7960000	32890000	459500000	435500000	291400000	108800000	32200000	31700000	23700000	1470000	370000	100000

Objetivo N° 2	Resultado	Programas, Proyectos, Actividades	Costo													
			aproximado	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
El acuífero cuenta con agua de buena calidad ECA 1 A2	Se reduce la intrusión marina	Planta Piloto de desalinización (universidad)	380000	80000	150000	150000										
		Barrera hidráulica negativa (planta desalinizadora)	12000000		2000000	5000000	5000000									
		Cierre de pozos en línea costera	1000000		200000	300000	300000	200000								
	Se reduce los vertimientos contaminantes al acuífero	Construcción PTAR Pueblo Libre	15000000			8000000	7000000									
		Construcción PTAR Magollo	300000000		2000000	50000000	100000000	148000000								
		Construcción PTAR Industriales	30000000			1000000	2000000									
		Electrificación de pozos	15000000			5000000	10000000									
TOTAL	3463800000	80000	4350000	69450000	124300000	148200000	0	0	0	0	0	0	0	0		

Objetivo N° 3	Resultado	Programas, Proyectos, Actividades	Costo aproximado	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
El territorio se encuentra ordenado de acuerdo al POT	Plan de ordenamiento de los Recursos Hídricos Implementado	Formulación del Plan de ordenamiento de recursos hídricos	1000000		1000000											
		Aprobación del Plan de ordenamiento de RR HH (D. S.)	100000			100000										
		Implementación del Plan de ordenamiento de RRHH	5000000			2000000	3000000									
		Monitoreo y vigilancia de la implementación del Plan	50000				5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
	El área para uso urbano, agrario, industrial, de recreación y equipamiento urbano está formalizada de acuerdo al POT	Elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial	2000000		1000000	1000000										
		Aprobación del POT	100000			100000										
		Implementación del POT	10000000				2000000	5000000	3000000							
		Adecuación de base legal para el saneamiento	20000		20000											
		Proyecto de saneamiento físico legal de las áreas agrícolas y urbanas; sobre la base de compromisos	4000000		2000000	2000000										
	Derechos de agua formalizados con respecto al Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos	Implementación del proyecto de saneamiento.	5000000			3000000	2000000									
		Preparación de los instrumentos legales	50000		50000											
		Plan de Formalización de acuerdo al PORRH y al POT	300000		300000											
			Implementación del Plan de Formalización	2000000			1000000	1000000								
	TOTAL			29620000	0	4370000	9200000	8005000	5005000	3005000	5000	5000	5000	5000	5000	5000

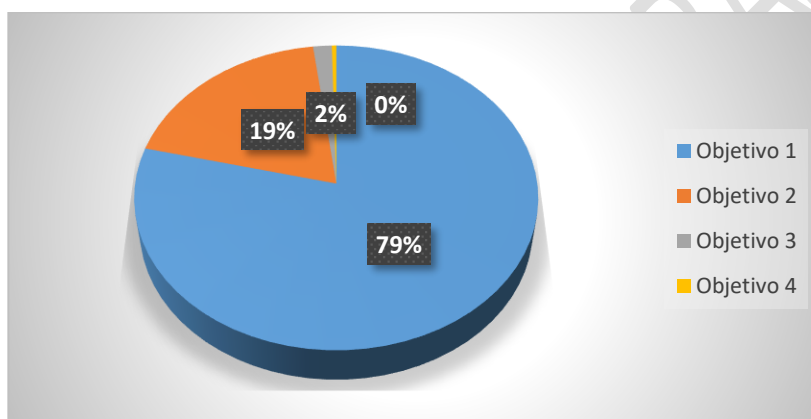
Objetivo N° 4	Resultado	Programas, Proyectos, Actividades	Costo aproximado	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
El acuífero se gestiona de manera sostenible	Comité de gestión del acuífero Funcionando	Conformación del Comité de Gestión del acuífero	10000	10000												
		Implementación del Comité de Gestión del acuífero	2500000		2500000											
		Funcionamiento del Comité	720000		60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000
	Reglamento del acuífero en cumplimiento por todas las instituciones y usuarios	Elaboración de Reglamento del acuífero	1000	1000												
		Publicación del Reglamento	10000	10000												
		Aprobación del Reglamento	1000	1000												
		Implementación del Reglamento del acuífero	144000		12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
	Sistema de vigilancia del acuífero implementado y funcionando	Seguimiento de infracciones al reglamento	70000		4000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
		Conformar el comité de vigilancia con la participación de las asociaciones agrarias.	10000	10000												
		Implementar plataforma tecnológica de vigilancia	100000		100000											
		Monitoreo de niveles (piezómetros)	720000		60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	
		Monitoreo de calidad de agua	360000		30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000	
	Sistema de información de recursos hídricos (recarga, usos, niveles, calidad de agua) implementado	Implementar sistema de denuncias y respuesta rápida	150000		100000	50000										
		Implementación de Plataforma de información	1500000		500000	1000000										
		Desarrollo de Estrategia de comunicación	15000		15000											
		Desarrollo de aplicativo de información para celular	60000		60000											
			Información en medios de comunicación y redes	720000		60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000
	TOTAL			7091000	32000	3501000	1278000	228000	228000	228000	228000	228000	228000	228000	228000	228000

8 ESTRATEGIA DE FINANCIAMIENTO

El presupuesto total del Plan es de 1 808 686 000 (Mil ochocientos ocho millones con seiscientos noventa y seis mil soles).

De los cuales el 79% corresponde al objetivo N° 1, donde están los proyectos de recarga del acuífero y de incremento de la disponibilidad de agua superficial para las actividades de los usuarios y el uso poblacional; principalmente la desalinización de agua de mar que representa el 56% del costo del objetivo N° 1 y el 44% del costo total. El objetivo N° 2 representa el 19% del costo total, estando el mayor costo en las acciones destinadas al Ordenamiento del Territorio. Los costos sumados de los objetivos N° 3 y N° 4, solo representan el 2,03% del Total.

Figura N. 59 Distribución de costos de los objetivos.



El presupuesto de inversiones, de gestión y de la Operación y mantenimiento de las infraestructuras que darán soporte a la recarga del acuífero se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N. 31 Inversiones y costos de operación y mantenimiento.

CONCEPTO	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Total
Inversiones	80000	7250000	1.03E+08	5.56E+08	5.56E+08	2.52E+08	57000000	5000000						1530580000
Gestion	42000	12931000	10168000	36033000	33433000	42633000	52033000	31933000	31933000	23933000	1703000	603000	333000	277711000
Operación y Mantenimiento Desalinizadora S/. /m3					55050000	55050000	55050000	55050000	55050000	55050000	55050000	55050000	55050000	495450000
Operación y Mantenimiento PTAR S/. /m3					6000000	6000000	6000000	6000000	6000000	6000000	6000000	6000000	6000000	54000000
Operación y Mantenimiento Trasvases S/. /m3					5100000	5100000	5100000	5100000	5100000	5100000	5100000	5100000	5100000	45900000
Operación y Mantenimiento Barrera Hidráulica S/. /m3					300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	2700000

El mayor porcentaje del presupuesto del Plan está en las inversiones que suman un total de S/. 1 530 980 000 (mil quinientos treinta millones novecientos ochenta mil soles) (85% del Total y los gastos de gestión representan S/. 277 711 000 que representa el 15% del Total del Plan. Los costos de Operación y mantenimiento anuales de toda la infraestructura de desalinización de agua, de tratamiento de aguas residuales y de recarga del acuífero alcanza a un monto de S/. 66 450 000 anuales; los cuales deben de cubrirse con la tarifa de agua, un porcentaje de los costos de inversión se amortizarán en el componente RPI incorporado a la Tarifa de agua.

Las líneas estratégicas para el financiamiento del Plan de Gestión son los siguientes:

Las fuentes de financiamiento serán:

1. Recursos provenientes de la venta de tierras para diferentes usos.
2. Recuperación de inversiones, cargado al componente Recuperación de inversiones en las tarifas de agua potable, industrial y agraria.
3. La operación y mantenimiento de la infraestructura de desalinización, Plantas de tratamiento de aguas residuales, trasvase y de recarga; se financiarán, con la tarifa de agua.
4. Se buscará también el financiamiento de fuentes de la cooperación internacional.
5. El producto de la venta de las tierras de acuerdo al Plan de Uso del Suelo, se colocará en un fideicomiso el cual será creado para uso exclusivo de los proyectos de inversión. (Este lineamiento requiere del acuerdo de las instituciones estatales que detentan la propiedad o tienen funciones en la planificación del territorio y la protección de los bienes estatales; requiere, además, de una norma específica).
6. Los proyectos de inversión se financian con el producto de la venta de las tierras; de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial. Los precios de los suelos propuestos son referenciales, se fijarán de acuerdo a norma y se venderán de acuerdo a la legislación vigente.
7. Se priorizará la inversión en la Planta de desalinización de agua, por ser prioridad para la región de Tacna; los servicios de saneamiento y las PTAR, cuya agua servirá para el uso de los agricultores de La Yarada y para recarga del acuífero.
8. Para el caso del abastecimiento de agua potable y saneamiento se ha tenido en consideración los costos actuales de la tarifa de agua fijados por la EPS Tacna. Que se muestran en la siguiente tabla.
9. Las tarifas propuestas para los diversos usos son referenciales, serán fijadas por los entes competentes en cuanto se establezca los costos reales de operación y Mantenimiento.

Tabla N. 32 Estructura tarifaria para la provincia de Tacna.

Clase	Categoría	Rango	Tarifa (S/ /m ³)		Cargo Fijo (S/)	Asignación de Consumo (m ³ /mes)
			Agua	Alcantarillado		
Residencial	Social	0 a más	0,722	0,303	3,39	10
	Doméstico	0 a 8	0,946	0,396	3,39	16
		8 a 16	1,256	0,527		
		16 a más	2,023	0,855		
No Residencial	Comercial y Otros	0 a 30	2,023	0,855	3,39	30
		30 a más	4,269	1,792		
	Industrial	0 a 60	4,269	1,792	3,39	60
		60 a más	6,928	2,928		
	Estatál	0 a más	2,023	0,855	3,39	40

Fuente: Modelo Tarifario de la EPS TACNA S.A.
Elaboración: Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS.

Un esquema preliminar de financiamiento, con costos referenciales se muestran en la Tabla N° 33. Se ha considerado el equilibrio financiero y un monto de recuperación de las inversiones que no es cubierto por la venta de la tierra, cargado al componente de recuperación de inversiones de la tarifa de agua, el plazo contemplado es de veinte años.

Tabla N. 33 Propuesta de financiamiento y tarifas de agua.

Areas	has	Valor Ha S/.	Total Valor Tierra S/.	ROM (S/. /m3)	RPI (S/. /m3)	Valor tarifa (S/. /m3)
Vivienda	1250	550500	688125000	1.527	0.10	1.627
Educación	125			1.527	0.10	1.627
Salud	70			1.527	0.10	1.627
Areas Públicas (parques)	400					
Vías y zonas de transporte (terminales)	250					
Comercial, hoteles.	300	917500	275250000	4.253	0.10	4.353
Industrial	120	917500	110100000	6.629	0.10	6.729
Agrícola	20000	10000	200000000	0.154	0.10	0.254
AREA TOTAL	22515		1273475000			

9 COMPATIBILIDAD CON LA PLANIFICACIÓN REGIONAL Y EL PLAN DE GESTIÓN DE LA CUENCA

La compatibilidad con el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca es total, principalmente está alineado a los objetivos uno y dos:

1. Mejora de la gestión de la oferta y la demanda y
2. Mejora de la calidad del agua.

El Plan de Gestión del Acuífero obedece a la implementación del “Programa de Ordenamiento Explotación de Aguas Subterráneas en La Yarada”

Con respecto a la compatibilidad con el Plan de Desarrollo Regional Concertado, la compatibilidad se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N. 34 Compatibilidad con el PDRC de Tacna

Objetivo Estratégico PDRC	Indicador	Meta	Objetivo/Resultado del PGA	Indicador	Meta
OE7. Incrementar la disponibilidad y calidad del recurso hídrico	Media mensual de descargas de agua que provienen de las cuencas regionales (m3/s)	9.9 m3/s	El acuífero Caplina se encuentra en equilibrio entre la oferta y la demanda	% de incremento de la recarga, con respecto a la recarga actual	3.3 m3/s
			El acuífero cuenta con agua de buena calidad ECA 1 A2	% de pozos con Índice de Calidad Ambiental de Recursos Hídricos (ICARH) bueno	100%
OE1. Garantizar el ejercicio pleno de los derechos humanos y la dignidad de las personas, con inclusión social	Porcentaje de personas en condiciones de pobreza	2.35%	El área para uso urbano, agrario, industrial, de recreación y equipamiento urbano está formalizada de acuerdo al POT	% de área formalizada con respecto al total a formalizar establecida en el POT	70%
			Plan de ordenamiento de los Recursos Hídricos Implementado	% del Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos Implementado	100%
OE2. Brindar servicios de calidad en condiciones equitativas y sostenibles	Nivel de habitabilidad	94.50%	Derechos de agua formalizados con respecto al Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos (todos los usos)	% de derechos de agua formalizados con respecto al Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos	100%
OE3. Desarrollar una gestión pública de calidad orientada al ciudadano	Porcentaje de personas que consideran la corrupción como un problema central - ENAHO	20%	El acuífero se gestiona de manera sostenible	% de Cumplimiento del Plan de Gestión del acuífero	100%

10 SISTEMA DE MONITOREO

El proceso de monitoreo debe de contemplar los pasos que se muestran en la figura N° 59; el Plan contempla el diseño de objetivos e indicadores hasta el paso 03. El Grupo de Trabajo para la gestión del acuífero del Consejo de Cuenca debe de completar el proceso de monitoreo.

Figura N. 60 Pasos del proceso de monitoreo



Objetivos e indicadores

Los objetivos e indicadores del Plan de Gestión del Acuífero Caplina se muestran a continuación:

Objetivo N° 1	Resultado	Indicador	Línea Base	Meta al 2028	Meta al 2035
El acuífero Caplina se encuentra en equilibrio entre la oferta y la demanda INDICADOR Porcentaje del agua extraída del acuífero con respecto a la recarga es igual o menor al 100% LINEA BASE 343%	Se reduce el número de pozos ilegales que extraen agua del acuífero	% de pozos ilegales reducidos, con respecto al total de pozos ilegales (790 pozos ilegales)	0	40%	70%
	Se disminuye la extracción del agua del acuífero	% de reducción del volumen de extracción de agua con respecto a la sobreexplotación (139,1 MMC)	0%	40%	70%
	Se incrementa la eficiencia de riego de los productores del acuífero	Eficiencia de uso de agua de riego	45%	60%	85%
	Se incrementa la recarga del acuífero	% de incremento de la recarga, con respecto a la recarga actual (57,55 hm ³)	0%	120%	150%

Objetivo N° 2	Resultado	Indicador	Línea Base	Tendencial al 2028	Meta al 2035
El acuífero cuenta con agua de buena calidad ECA 1 A2 INDICADOR % de pozos con Índice de Calidad Ambiental de Recursos Hídricos (ICARH) bueno	Se reduce la intrusión marina	Reducción de la cuña marina	9 km	7 km	3km
	Se reduce los vertimientos contaminantes al acuífero	% de reducción de vertidos contaminantes al acuífero con respecto a la línea base (808 fuentes contaminantes)	0%	50%	90%

Objetivo N° 3	Resultado	Indicador	Línea Base	Tendencial al 2028	Meta al 2035
El territorio se encuentra ordenado de acuerdo al POT INDICADOR Porcentaje de ordenamiento del territorio con respecto al Plan LINEA BASE 0%	Plan de ordenamiento de los Recursos Hídricos Implementado	% del Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos Implementado	0%	80%	100%
	El área para uso urbano, agrario, industrial, de recreación y equipamiento urbano está formalizada de acuerdo al POT	% de área formalizada con respecto al total a formalizar establecida en el POT	0%	80%	70%
	Derechos de agua formalizados con respecto al Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos	% de derechos de agua formalizados con respecto al Plan de Ordenamiento de los Recursos Hídricos	0%	30%	100%

Objetivo N° 4	Resultado	Indicador	Línea Base	Tendencial al 2028	Meta al 2035
El acuífero se gestiona de manera sostenible INDICADOR % de Cumplimiento del Plan de Gestión del acuífero LINEA BASE 0%	Comité de gestión del acuífero Funcionando	% de acuerdos del comité implementados	0	90%	90%
	Reglamento del acuífero en cumplimiento por todas las instituciones y usuarios	Porcentaje de infracciones al reglamento con respecto al total de usuarios debe ser menor o igual al 5%	0	50%	5%
	Sistema de vigilancia del acuífero implementado y funcionando	Porcentaje de informes de vigilancia con respecto a lo programado anualmente	0%	70%	100%
	Sistema de información de recursos hídricos (recarga, usos, niveles, calidad de agua) implementado	Porcentaje de reportes mensuales de Información de volúmenes de extracción, niveles del acuífero, intrusión marina, balance, etc. Difundidos	0%	80%	100%

El Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca, aprobará los planes anuales del Grupo de Trabajo para la gestión del acuífero y el Plan de monitoreo.

El monitoreo de avances tendrá una periodicidad trimestral; las evaluaciones se harán cada cinco años, en los cuales se actualizará el Plan de Gestión del Acuífero.