



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
 PROYECTO MINERO QUEBRADA BLANCA FASE 2**

**CAPÍTULO 3.6
 “LÍNEA DE BASE RELACIONES ECOSISTÉMICAS”**

TQB14016-REP-MA-0255

3	LÍNEA DE BASE	3.6-1
3.6	RELACIONES ECOSISTEMICAS.....	3.6-1
3.6.1	INTRODUCCIÓN.....	3.6-1
3.6.2	OBJETIVOS.....	3.6-3
3.6.2.1	Objetivo general	3.6-3
3.6.2.2	Objetivos específicos.....	3.6-4
3.6.3	METODOLOGÍA	3.6-4
3.6.3.1	Caracterización cualitativa de las interacciones ecosistémicas	3.6-4
3.6.3.2	Caracterización ecosistémica cuantitativa.....	3.6-9
3.6.4	RESULTADOS	3.6-13
3.6.4.1	Contexto Regional	3.6-13
3.6.4.2	Análisis de información biótica y ambiental.....	3.6-25
3.6.4.3	Relaciones tróficas en los ecosistemas.....	3.6-46
3.6.4.4	Ecosistemas de alto valor ambiental	3.6-56
3.6.5	SÍNTESIS Y CONCLUSIONES	3.6-60
3.6.5.1	Ecosistemas terrestres	3.6-60
3.6.5.2	Ecosistemas acuáticos continentales.....	3.6-63
3.6.5.3	Ecosistemas marinos	3.6-64
3.6.6	BIBLIOGRAFÍA.....	3.6-67

TABLAS

Tabla 3.6-1.	Coeficiente de Correlación Intragrupo (CCI) obtenido del CCA realizado en el área de influencia.	3.6-31
Tabla 3.6-2.	Coeficiente de Correlación Intragrupo (CCI) obtenido del CCA realizado en el área de influencia.	3.6-33

FIGURAS

Figura 3.6-1.	Área de Influencia Componente Ecosistema Terrestre	3.6-5
Figura 3.6-2.	Área de Influencia Componente Ecosistemas Acuáticos Continentales	3.6-6
Figura 3.6-3.	Área de Influencia Componente Ecosistemas Marinos	3.6-7
Figura 3.6-4.	Representación esquemática de surgencia en el área de influencia.	3.6-19
Figura 3.6-5	Fases de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS).....	3.6-20
Figura 3.6-6.	Escalas temporales, procesos físicos y biológicos asociados	3.6-21
Figura 3.6-7.	Desembarque histórico de anchoveta y sardina española, Regiones XV, I y II, 1955 - 2008	3.6-22
Figura 3.6-8.	Escalas temporales, procesos físicos y biológicos asociados	3.6-23
Figura 3.6-9.	Distribución altitudinal de la composición y abundancia de flora en los sectores de Desierto Costero, Desierto Interior y Cordones Occidentales	3.6-28
Figura 3.6-10.	Distribución altitudinal de la composición y abundancia de flora en los sectores de Desierto Costero, Desierto Interior y Cordones Occidentales excluyendo vegetación zonal.....	3.6-28
Figura 3.6-11.	Distribución de la composición y abundancia de flora según recubrimiento de suelo en el sector Altiplano Mina – Planta.....	3.6-30
Figura 3.6-12.	Distribución de la composición y abundancia de flora según recubrimiento de suelo en los sectores de Qda. Huinquentipa – Ornajuno y Qda. Choja - Ramucho según recubrimiento de suelo.	3.6-30
Figura 3.6-13.	Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) en la composición y abundancia de la flora <i>versus</i> componente abióticos edáficos según recubrimiento de suelo en el área de influencia.	3.6-31
Figura 3.6-14.	Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) en la composición y abundancia de la flora <i>versus</i> componente abióticos edáficos según recubrimiento de suelo en el altiplano.	3.6-32
Figura 3.6-15.	Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) de las comunidades fitoplanctónicas presentes en el área de influencia.....	3.6-34
Figura 3.6-16.	Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) de las comunidades fitobentónicas presentes en el área de influencia.	3.6-35
Figura 3.6-17.	Análisis de Componentes Principales (ACP) para las variables de calidad del agua en el área de influencia del Proyecto.	3.6-36
Figura 3.6-18.	Secciones temporales de temperatura (A), salinidad (B), oxígeno disuelto (C) y clorofila-a (D), verano 2015	3.6-39

Figura 3.6-19.	Análisis de Componentes Principales - Sistema Pelágico, Verano 2015..	3.6-40
Figura 3.6-20.	Secciones temporales de (A) temperatura, (B) salinidad, (C) oxígeno disuelto y (D) clorofila-a., invierno 2015.	3.6-42
Figura 3.6-21.	Análisis de Componentes Principales - Sistema Pelágico, Invierno 2015.	3.6-43
Figura 3.6-22.	Análisis de componentes principales (ACP) - Sistema bentónico, verano 2015	3.6-44
Figura 3.6-23.	Análisis de Componentes Principales (ACP) - Sistema bentónico, invierno 2015	3.6-46
Figura 3.6-24.	Trama trófica simplificada de ecosistemas presentes ecosistemas costeros	3.6-48
Figura 3.6-25.	Trama trófica simplificada de ecosistemas presentes en ecosistema de pampa	3.6-50
Figura 3.6-26.	Trama trófica simplificada de ecosistemas presentes en ecosistema de puna	3.6-52
Figura 3.6-27.	Trama trófica simplificada de ecosistemas acuáticos continentales presentes en el área de influencia del Proyecto	3.6-54
Figura 3.6-28.	Redes Tróficas en los Ecosistemas Marinos.....	3.6-55
Figura 3.6-29.	Distribución de los ecosistemas azonales en sectores Cordón Occidental y Mina Planta del Área de Influencia.....	3.6-57
Figura 3.6-30.	Distribución de los Tillandsiales en el Área de Influencia.....	3.6-58
Figura 3.6-31.	Detalle de Franja intermareal en el Área de Influencia	3.6-59



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PROYECTO MINERO QUEBRADA BLANCA FASE 2

CAPÍTULO 3.6 LÍNEA DE BASE RELACIONES ECOSISTÉMICAS

TQB14016-REP-MA-0255

3 LÍNEA DE BASE

3.6 RELACIONES ECOSISTEMICAS

3.6.1 Introducción

Según lo establecido en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Decreto Supremo N° 40 del 2012 del Ministerio del Medio Ambiente¹), la línea de base incluirá las relaciones existentes entre los componentes biológicos (terrestres, acuáticos y marinos) y el medio físico que forman los ecosistemas presentes en el área de influencia del Proyecto o actividad, así como las relaciones entre los distintos tipos de ecosistemas. En el caso particular del “Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2”, el área de influencia se ubica en la Región de Tarapacá (provincias de Iquique y El Tamarugal) y sus componentes abarcan desde el sector marítimo en Puerto Patache, comuna de Iquique, pasando por la comuna de Pozo Almonte, hasta aproximadamente los 4.500 m.s.n.m. de la Cordillera de Los Andes en la Comuna de Pica, incluyendo la presencia de diversos ecosistemas terrestres, acuáticos continentales (dulceacuícolas) y marinos, por lo que las relaciones ecosistémicas se han caracterizado tomando como referencia las áreas de influencia empleadas para cada uno de ellos.

A fin de comprender sus relaciones e interacciones, es preciso comprender que un ecosistema es un tipo particular de sistema formado por complejos de organismos vivos (componentes biológicos), su ambiente físico (componentes abióticos) y las relaciones que se establecen entre ellos. De acuerdo a Tansley (1935) un ecosistema es la entidad que involucra las interrelaciones entre los componentes bióticos y abióticos en la naturaleza. En la actualidad es ampliamente aceptado el enfoque funcional, donde los componentes biológicos y físicos de los ecosistemas constituyen un único sistema interactivo. Desde el punto de vista biogeográfico, el área de influencia de los componentes biológicos del Proyecto está inserta en la región Andina, comprendiendo las provincias del Desierto Costero y de la Puna (Morrone, 2001), por lo que su

¹ Modificado por el D.S N° 8/2014 y D.S N°63/2014.

vegetación presenta una fisionomía propia de un clima desértico a semidesértico de montaña, con algunas variaciones de mar a cordillera, destacando cuatro subclimas: clima desértico costero con alta nubosidad, clima desértico normal, clima desértico marginal de altura y clima de estepa de altura.

Cabe destacar que, dado que determinar todos los elementos que posibilitan los procesos básicos para el funcionamiento de los ecosistemas sería un proceso fuera de los alcances metodológicos de este informe, se propone una caracterización desde el punto de vista de la caracterización de sus posibles factores limitantes, es decir, aquellos factores abióticos (disponibilidad hídrica, temperatura, pH, salinidad, minerales, nutrientes, etc.) y/o bióticos (relaciones alimenticias) que de una u otra forma regulan el crecimiento y desarrollo de las comunidades ya sea por su exceso o ausencia dentro del ecosistema. Asimismo, la caracterización de los ecosistemas terrestres, acuáticos continentales y marinos, fue realizada a partir de la información correspondiente a las áreas de influencia empleadas para sus respectivas Líneas de Base.

En ese contexto, en términos de su hidrografía, los ecosistemas terrestres presentan una fuerte escasez de escurrimientos debido al predominio del clima árido, lo cual ha influenciado el desarrollo de especies adaptadas a condiciones complejas, donde la disponibilidad hídrica es un factor limitante con gran influencia sobre los distintos componentes vivos del ecosistema. De forma secundaria, destaca el componente suelo como sustrato principal de toda flora y fauna, determinando el tipo de vegetación de acuerdo a la disponibilidad de nutrientes, flora microbiana asociada a la rizósfera, entre otros factores.

Dadas las particularidades de su geografía, la región de Tarapacá se caracteriza por su alto nivel de endemismo determinado por especies adaptadas a condiciones complejas. No obstante, este nivel de endemismo se ve afectado debido a las perturbaciones antropogénicas como consecuencia del cambio en el uso del suelo (Charney *et al.*, 1975), la pérdida de nutrientes (Evans y Belnap, 1999), la disminución de la vegetación, el aumento de la erosión, sobreexplotación de los recursos marinos, la invasión de especies exóticas y la pérdida de especies nativas (Brown *et al.*, 1997) entre otros.

En respuesta a estas perturbaciones que afectan el funcionamiento de los ecosistemas áridos se iniciaron proyectos de conservación basados exclusivamente en su valor intrínseco “el derecho de la especie a vivir”. Sin embargo, en los últimos años esta visión ha dado un giro más pragmático, dando a los ecosistemas un valor científico, estético, educativo o valor de uso directo (alimento, agua potable, madera, etc.) tomando en cuenta al ecosistema como un aporte en la calidad de vida de las personas (López *et al.*, 2006). Por lo tanto, desde un contexto antropocéntrico, los ecosistemas son un capital natural, es decir, con integridad ecológica para lidiar con perturbaciones (resiliencia), generando un flujo de servicios ecosistémicos destinados al hombre, mediante el mantenimiento de sus funciones, siendo la razón fundamental para invertir y distinguir los procesos ecológicos básicos que mantienen y satisfacen las demandas de los servicios ecosistémicos.

Por otro lado, los ecosistemas acuáticos continentales presentes en la Región de Tarapacá, y en general en la zona norte de Chile, están representados por los humedales andinos y altoandinos. Los humedales han sido definidos como subsistemas límnicos integrados a la cuenca hidrográfica (incluidos pantanos, marismas, lagos, bofedales, vegas, salares, pastizales húmedos, turberas y estuarios) y son zonas en las que el agua es el principal factor que controla el medio y la vida vegetal y animal relacionada con él. Se generan en los lugares donde la capa freática se halla en o cerca de la superficie de la tierra o donde la tierra está cubierta de agua poco profunda y destacan por su baja representatividad y por mantener una diversidad biológica única, con un alto nivel de endemismo.

Los ecosistemas marinos de la región Tarapacá, por su parte, se caracterizan por formar parte del Sistema de la Corriente de Humboldt, y como tal, son susceptibles a los factores de variabilidad ambiental que ocurren en él. El Sistema de la Corriente de Humboldt es uno de los principales sistemas de surgencias (“*upwelling*”) o afloramientos costeros inducidos por acción de los vientos alisios, los que son responsables del transporte de elementos nutritivos hacia las capas más superficiales, favoreciendo el desarrollo de las comunidades planctónicas, que a su vez nutren al resto de la cadena trófica. Este ecosistema, sin embargo, está periódicamente sometido a un verdadero “estrés” climático, producto de una alta variabilidad ambiental. Eventos del tipo El Niño y La Niña, (correspondientes, respectivamente, a las fases cálida y fría de El Niño-Oscilación del Sur), trastornan durante meses el régimen de los vientos, de las lluvias y de las corrientes marinas, así como las temperaturas del mar y el contenido de oxígeno. Para la zona norte de Chile, el comportamiento de estas fluctuaciones ha sido ampliamente caracterizado, a partir de información climatológica (Blanco *et al.*, 2001).

Además de las oscilaciones océano-climáticas, el ecosistema marino se ve afectado por las variaciones decenales y seculares, reveladas por estudios paleo climáticos (Betrand *et al.*, 2010), que generan distintas respuestas a nivel de la biota, además de acarrear consecuencias a diferentes escalas sobre otros ecosistemas, las que también son observables a nivel del área marina de la región Tarapacá, y en general en la zona norte de Chile. A estas condiciones también se les debe adicionar el estrés ocasionado por la presión ejercida por las actividades industriales como la pesca, la producción de energía, el turismo, y en general, todas las actividades de origen antrópico que generan alteraciones en las condiciones naturales de los ecosistemas marinos y que potencialmente pueden afectar su biodiversidad.

En este contexto, el presente apartado caracteriza las relaciones ecosistémicas presentes en el área de influencia de los componentes biológicos del Proyecto Minero Quebrada Blanca Fase 2, que comprende las áreas de, Mina, Obras Lineales, Pampa y Puerto.

3.6.2 Objetivos

3.6.2.1 Objetivo general

El objetivo general es caracterizar las relaciones entre el medio físico y los componentes biológicos que conforman los ecosistemas presentes en el área de influencia del componente

biológico del Proyecto, determinando los elementos ambientales (factores limitantes) que describan de mejor manera el funcionamiento de estos, e identificando los ecosistemas de mayor sensibilidad.

3.6.2.2 Objetivos específicos

- Realizar una contextualización regional señalando las principales características de los ecosistemas terrestres, acuáticos continentales y marinos, dentro del área de influencia del componente biológico del Proyecto.
- Caracterizar los ecosistemas presentes en el área de influencia del componente biológico del Proyecto, describiendo los principales elementos bióticos y abióticos con mayor influencia en el funcionamiento de estos (factores ecológicos limitantes).
- Determinar la existencia de un patrón de diferenciación (o similitudes) intra-ecosistemas presentes en el área de influencia del componente biológico, en base a la composición y abundancia de las comunidades biológicas.
- Identificar y caracterizar los principales factores ambientales limitantes para las comunidades que conforman flora y fauna terrestre, y la biota acuática continental y marina mediante un análisis exploratorio multivariado de la información primaria.
- Descripción de las principales relaciones tróficas que se manifiestan entre las comunidades biológicas identificadas en los ecosistemas existentes en el área de influencia del componente biológico.

3.6.3 **Metodología**

Para alcanzar los objetivos definidos se siguieron las siguientes etapas metodológicas:

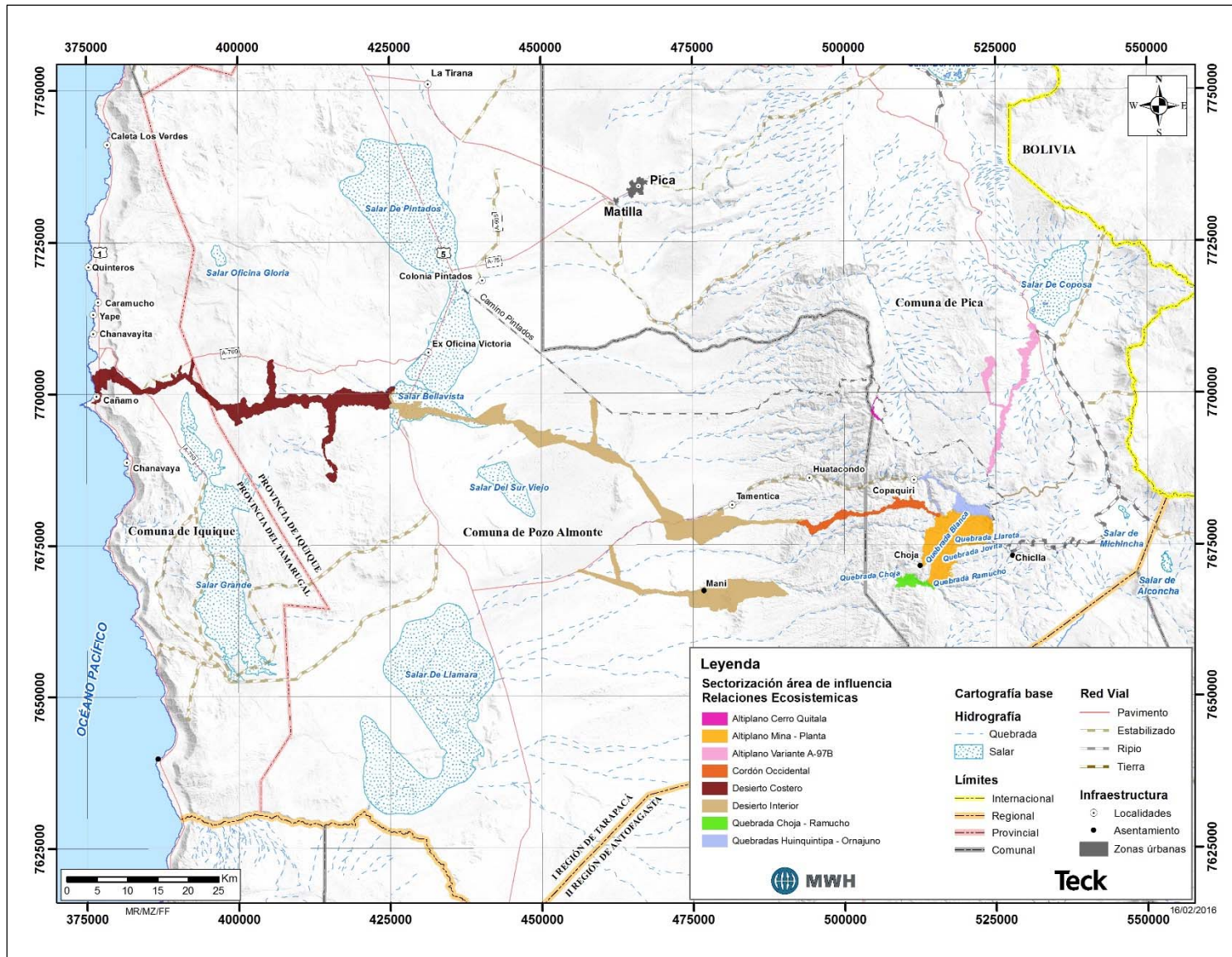
3.6.3.1 Caracterización cualitativa de las interacciones ecosistémicas

3.6.3.1.1 Descripción regional

A partir de los antecedentes generados como parte de la Línea de Base, y de la revisión y análisis bibliográfico de antecedentes, se describieron los ecosistemas terrestres, acuáticos continentales y marinos a una escala regional, entregando información sobre los principales factores bióticos y abióticos que actúan a escala regional (factores geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, oceanográficos, climáticos) sobre la biota.

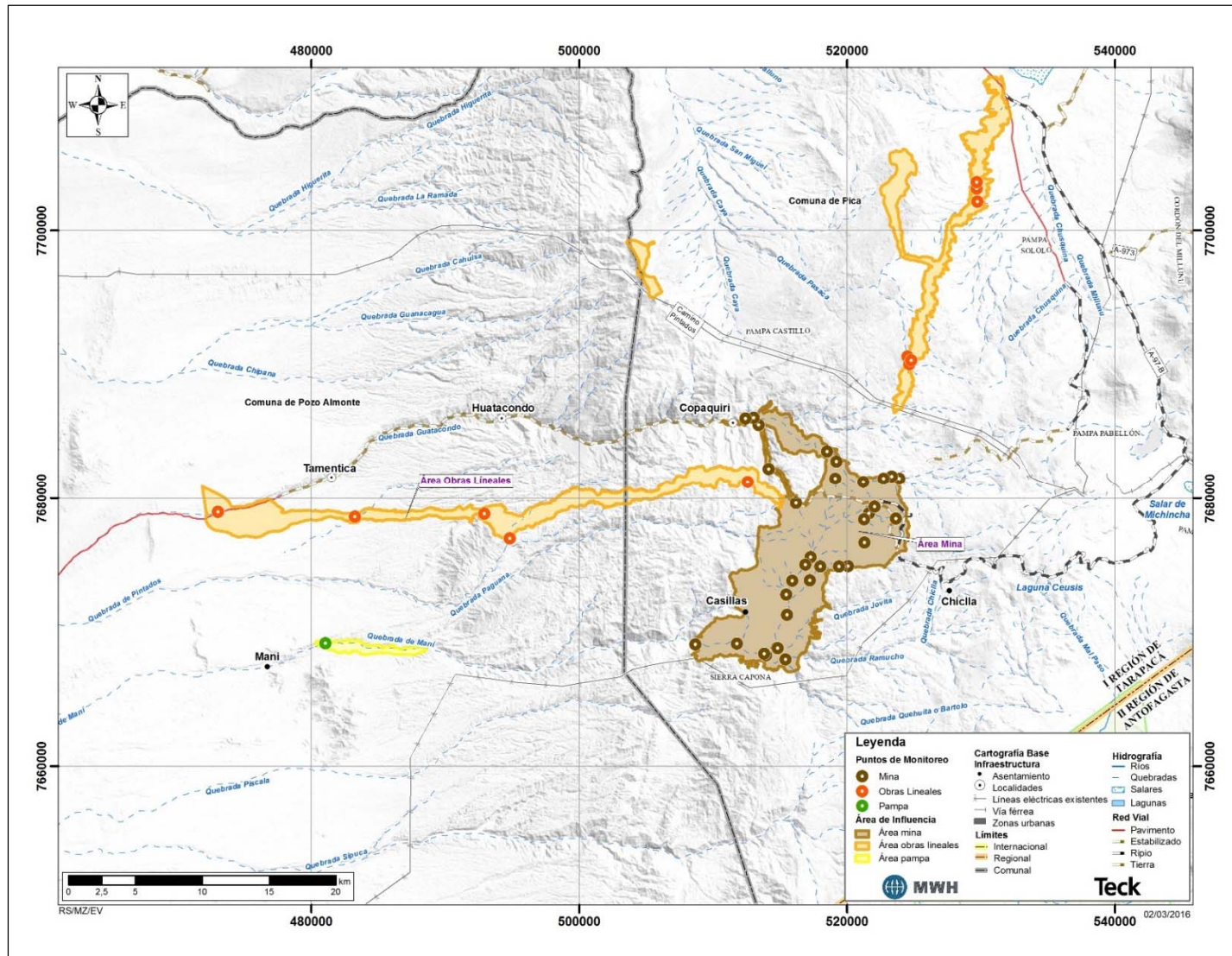
Adicionalmente, se revisaron fuentes oficiales de información disponibles en el sitio oficial del SEA, tales como Proyectos y guías, entre otros, así como diversas publicaciones científicas, a fin de consolidar información con la estructura y enfoque propuestos en el Reglamento del SEIA (Art. 18, literales e.2, e.3 y e.4). A continuación, en las Figura 3.6-1, Figura 3.6-2 y Figura 3.6-3, se muestran las Áreas de Influencia determinadas para las componentes Terrestres, Acuáticos Continentales y Marinos, desarrollados en el Estudio Impacto Ambiental (EIA).

Figura 3.6-1. Área de Influencia Componente Ecosistema Terrestre



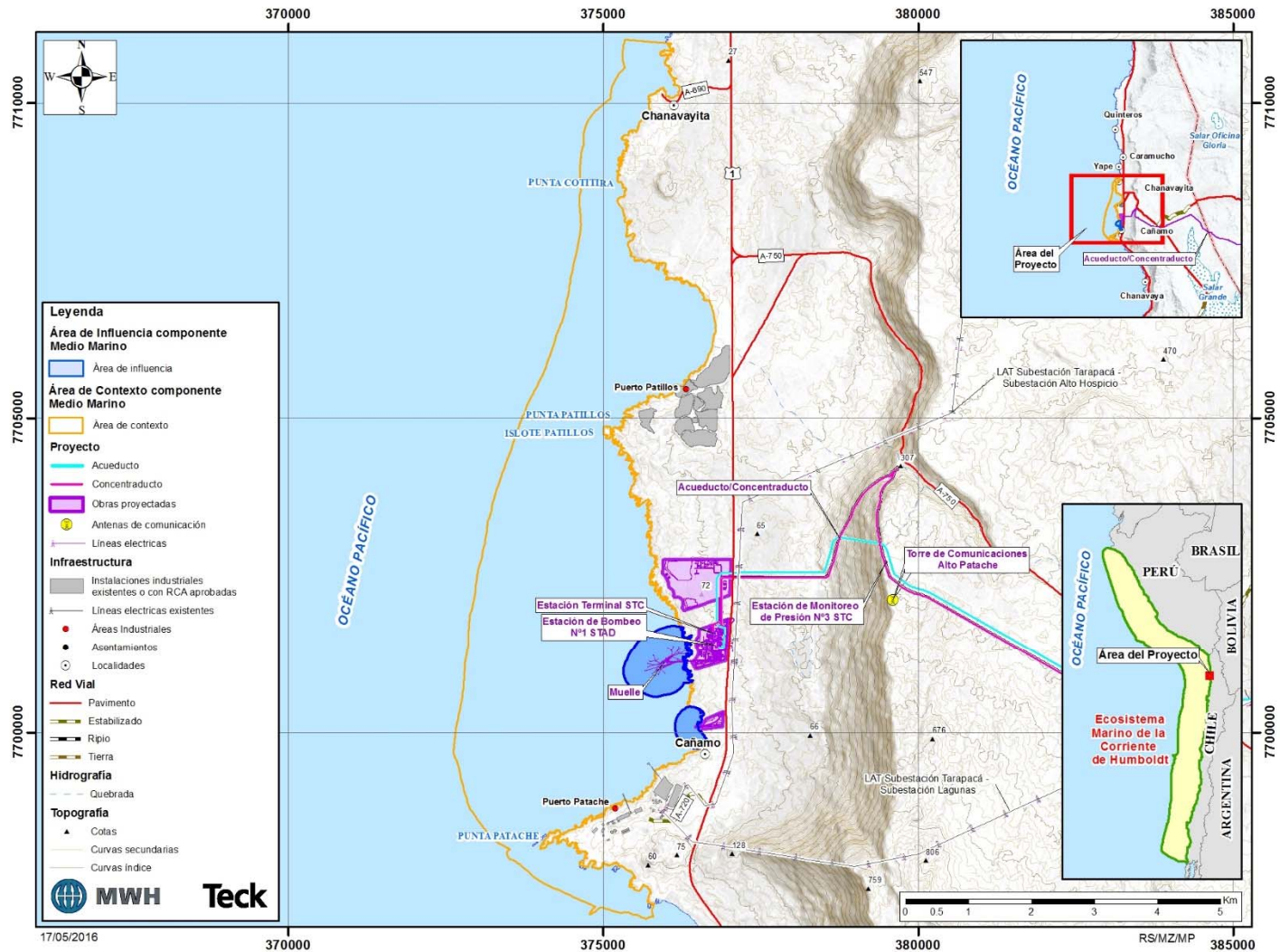
Fuente: MWH, 2016

Figura 3.6-2. Área de Influencia Componente Ecosistemas Acuáticos Continentales



Fuente: MWH, 2016

Figura 3.6-3. Área de Influencia Componente Ecosistemas Marinos



Fuente: MWH, 2016

3.6.3.1.2 Caracterización del Área de Influencia del Componente Biológico

Una vez descritos los factores que actúan a nivel regional, se procedió a caracterizar los ecosistemas presentes en el área de influencia describiendo algunos de los elementos (factores abióticos y bióticos) determinantes de su estructura y funcionamiento, para lo cual se realizó una revisión de los antecedentes generados en el marco del Estudio de Impacto Ambiental de los siguientes estudios:

- Línea base de **Clima y Meteorología**
- Línea base de **Calidad de Aire**
- Línea base de **Geología, Geomorfología y Riesgos Geológicos**
- Línea base de **Suelo**
- Línea de base de **Hidrología**
- Línea de base de Ecosistema Terrestre. **Flora y Vegetación y Animales Terrestre**
- Línea de base de Ecosistema Terrestre. **Flora no Vascular**
- Línea base de **Ecosistemas Acuáticos Continentales**
- Línea de base de **Recursos Hídricos Marinos**
- Línea de base de **Ecosistemas Marinos**

Los insumos de estos capítulos fueron utilizados para caracterizar el área de influencia del componente biológico, según parámetros bióticos y abióticos que den sustento y robustez a los análisis a realizar posteriormente. En ese contexto, para el caso de los ecosistemas terrestres se consideraron como factores abióticos las variables climatológicas, suelo y geomorfológicas, mientras que entre los factores bióticos se incluyeron variables de flora y vegetación, ya que puede ser usada como un buen sustituto del ecosistema completo.

En cuanto a los ecosistemas acuáticos continentales se consideró la información obtenida en el contexto de la línea de base para los componentes bióticos que habitan de manera permanente en la columna de agua o sedimentos (fitoplancton, fitobentos). Asimismo, se consideraron los parámetros físicos y químicos de calidad de aguas obtenidos a partir de la caracterización de línea de base de estos ecosistemas como factores abióticos.

En los ecosistemas marinos, los factores bióticos corresponden a las comunidades planctónicas, comunidades bentónicas, necton (fauna íctica), y los depredadores superiores (reptiles, aves y mamíferos) Algunas especies de estas comunidades habitan en la columna de agua (subsistema pelágico), en tanto que otras lo hacen en el sustrato o lecho marino (subsistema bentónico). Para las comunidades que habitan en la columna de agua, se emplearon como factores abióticos, las características físico-químicas y calidad del agua, mientras que para las comunidades que habitan el sustrato o lecho marino, se emplearon parámetros físicos y químicos derivados de la caracterización de sedimentos. Adicionalmente se caracterizan cualitativamente los procesos de carácter regional, que potencialmente generan variabilidad ambiental sobre las comunidades biológicas.

3.6.3.1.3 Caracterización de relaciones tróficas y análisis de flujos de energía

De acuerdo a los hallazgos de las Líneas de Base de ecosistemas terrestres, ecosistemas acuáticos continentales y ecosistemas marinos; así como de información científica referencial, se establecieron las posibles relaciones alimenticias o flujos de energía presentes en el área de influencia del componente biológico, diferenciando por taxón (según el género y/o especie) a productores y consumidores (primarios, secundarios y terciarios). Estas relaciones fueron representadas en figuras esquemáticas de trama o red trófica para cada tipo de ecosistema.

El objetivo de caracterizar la trama trófica es identificar las principales especies que componen los niveles tróficos existentes en los ecosistemas en el área de influencia del componente biológico del Proyecto. De igual forma, a partir de información referencial (historia de vida de las especies), se identificaron las especies clave, es decir, aquellas especies que pueden producir un efecto desproporcionado en su entorno en relación a su abundancia (Paine, 1995), provocando una “reacción en cadena” sobre otras especies. Las especies clave por tanto, tienen un papel importante en el mantenimiento de la estructura y del equilibrio de los ecosistemas.

Cabe destacar que para la representación de las tramas tróficas se incluyen las especies más representativas en términos de su abundancia y distribución en las respectivas áreas de influencia biológica (terrestre, acuática continental y marina).

3.6.3.2 Caracterización ecosistémica cuantitativa

Además de realizar una descripción bibliográfica de los ecosistemas que abarca el área de influencia biótica, se emplearon herramientas estadísticas con el fin de complementar dicha descripción, respecto a las relaciones existentes entre los factores bióticos y abióticos.

3.6.3.2.1 Análisis de factores bióticos

La información cuantitativa generada como parte de la línea de base de los componentes bióticos fue revisada y ordenada, obteniendo bases de datos compiladas que incluyen las campañas realizadas y las áreas prospectadas. A partir de las bases de datos se llevó a cabo un Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS). El MDS o Análisis de Proximidades es un método que trata de representar medidas de proximidad (similitudes o disimilitudes) entre pares de objetos como distancias (euclidianas) o el índice de similitud de Bray Curtis, en un espacio multidimensional de baja dimensión. La representación en baja dimensión permite la inspección visual de la estructura de los datos, facilitando la interpretación del análisis. Los análisis estadísticos multivariados fueron aplicados usando el software PRIMER (v. 7). Este análisis permitió identificar la existencia de patrones de distribución espacial y temporal de las comunidades biológicas evaluadas para cada tipo de ecosistema presente en el área de influencia del componente biológico (terrestre, acuático continental y marino).

Para comparar la distribución de los ecosistemas terrestres, se crearon matrices de presencia/ausencia de flora según la parcela, estación del año y sector del área de influencia

donde fueron muestreadas. Por ejemplo, tenemos un número de variables asociado a la riqueza de flora (especies de flora total descritas en las campañas realizadas durante la ejecución de la línea base) y los casos corresponden a las parcelas de muestreo realizadas en cada estación, dentro de las cuales se distribuyen el total de las especies caracterizadas. Por lo tanto, se construye una matriz en función de la riqueza de cada especie dentro de la parcela muestreada. Es decir, este análisis determina por un lado, la distribución del total de las especies en función de las formaciones vegetales con mayor riqueza que explicaría el mayor porcentaje de variabilidad de las especies. Y por otro lado, establecer si existe una influencia temporal (se comparan las mismas parcelas en cada campaña estacional) y/o espacial de acuerdo al área de influencia.

Para el caso de los ecosistemas acuáticos continentales se analizaron los datos de cada comunidad de manera independiente (fitoplancton, fitobentos), incluyendo la información en las campañas desde invierno 2014 a verano 2016 (Ver Anexo 3.4-3, de línea de base de ecosistemas acuáticos continentales). Para cada comunidad se contó con información de riqueza taxonómica y abundancia, parámetros que fueron analizados respecto de su variación espacial (puntos de muestreo, sectores, áreas) y temporal (campañas de terreno), mediante análisis de ordenamiento espacial.

Finalmente, a partir de la información levantada durante las campañas de terreno, referidas a la composición taxonómica y abundancia de las comunidades biológicas del ecosistema marino (comunidades planctónicas, comunidades bentónicas e ictiofauna, se establecieron similitudes existentes en las características de cada comunidad, en relación su ubicación (espacial) y a las campañas o temporadas de evaluación (temporal), mediante la ordenación no métrica multidimensional (MDS). La información biológica empleada para este análisis es entregada en detalle desde el Anexo 3.5-1 al Anexo 3.5-6.

3.6.3.2.2 Análisis de ecosistemas (factores bióticos y abióticos)

Con el objetivo de identificar y determinar las relaciones existentes entre los componentes bióticos de los ecosistemas terrestres y a su vez, las relaciones de estos ecosistemas con su medio físico (factores abióticos), se realizaron análisis estadísticos multivariados exploratorios.

Para determinar las relaciones existentes entre los componentes bióticos, la técnica empleada fue el análisis de componentes principales (ACP), que es una técnica estadística de síntesis de información, o reducción de la dimensión o número de variables, a un número menor (perdiendo la menor cantidad de información posible), a través de la generación de componentes principales o factores que son una combinación lineal de las variables originales y que a la vez son independientes entre sí. El objetivo del ACP es - que dadas "n" observaciones de "p" variables - representar simplificada la información con un número menor de variables construidas como combinaciones lineales de las originales. Por ejemplo, con variables con alta dependencia es frecuente que un pequeño número de variables (menos de 20 por 100 de las originales) expliquen la mayor parte (más del 80 por 100 de la variabilidad original), permitiendo una

inspección visual de la estructura de los datos, facilitando la interpretación del análisis. El programa empleado para este análisis fue PRIMER versión 7.0.

Para relacionar la estructura de las comunidades terrestres con los parámetros abióticos, se utilizó un análisis de correspondencia canónica (CCA) (Ter Braak, 1986). El CCA se realizó en el programa MVSP 3.12h (GeoMem), en donde los puntos representan las muestras y los vectores las variables ambientales, ya que éste es un método multivariado de análisis directo adecuado para describir esta relación (Morales y col. 2006). Sin embargo, para la aplicación de estos análisis es necesario comprobar que las variables medidas no estén fuertemente correlacionadas. Este fenómeno podría afectar el análisis haciendo los coeficientes de correlación muy inestables (Ter Braak, 1990). El objetivo del CCA, es relacionar los perfiles de las campañas de terreno de flora y vegetación, considerando una matriz de abundancia relativa (biomasa promedio) de acuerdo a su clasificación taxonómica y esto relacionarlo con los parámetros físicos medidos en estudio edafológico, específicamente los análisis químicos que se realizaron en las calicatas. Las variables abióticas fueron: humedad aprovechable, pH, Conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, arena y arcilla.

Ambos análisis estadísticos se expresan en un plano cartesiano, en el cual se distribuyen las parcelas de muestreo (puntos) y para el caso del CCA, los vectores serían las variables ambientales abióticas.

Para el caso de los ecosistemas acuáticos continentales se utilizaron las variables físicas y químicas de calidad de agua que resultan de mayor relevancia para la descripción de las comunidades limnológicas, para los cuales se cuenta con información estacional completa para el área de influencia de un ciclo hidrológico anual completo. Los parámetros físicos y químicos considerados corresponden a: pH, Conductividad eléctrica, Sólidos disueltos totales, Oxígeno disuelto, temperatura, fósforo total, nitrógeno total, alcalinidad total, clorofila a. Se utilizaron los datos obtenidos para las campañas de otoño 2015 hasta verano 2016 (Anexo 3.4-2 Línea de Base Ecosistemas Acuáticos Continentales).

Respecto a los ecosistemas marinos, el análisis multivariado exploratorio se realizó para Los subsistemas pelágico (referido a la columna de agua) y bentónico (comprende el fondo o lecho marino), para las estaciones de verano e invierno del 2015. Para el caso del subsistema pelágico se consideraron la abundancia (N) fitoplanctónica y zooplanctónica, así como la biomasa zooplanctónica, como variables bióticas, las cuales pueden ser revisadas en detalle en el Anexo 3.5-1. Para el caso del subsistema bentónico se consideró la información de la comunidad bentónica submareal de fondos blandos, referida a los parámetros de abundancia (N), riqueza de especies (S) y diversidad específica de Shannon (H') como parámetros bióticos. El detalle de la información biológica de esta comunidad es presentado en el Anexo 3.5-5.

Respecto a las variables abióticas, para el caso del subsistema pelágico, la información empleada corresponde a las variables determinadas a partir de la medición y/o análisis de parámetros físico-químicos en la columna de agua incluidos en la caracterización de línea de base marina, referidas a temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, contenido de clorofila-a, feopigmentos y nutrientes

(nitrito, nitrato, fosfato). Es preciso indicar que los parámetros físico-químicos empleados para este análisis fueron obtenidos a través de registros de los perfiles evaluados con el CTDO, el cual fue desplegado en cada extremo de los transectos de muestreo de las comunidades planctónicas, cuya ejecución fue realizada específicamente para la caracterización de dichas comunidades; así como de los resultados del análisis de laboratorio, a partir de las muestras de agua colectadas en los sitios de muestreo del fitoplancton. Esta información corresponde al muestreo intensivo de la comunidad planctónica, desarrollado durante dos días y una noche, en el área de contexto de las instalaciones marinas del proyecto, denominada para efectos de esta evaluación Área de Influencia, así como en áreas alejadas de ésta (sitios Control), ubicadas hacia el sur, frente a playa Chauca (mayor detalle en Anexo 3.5-1. Comunidades planctónicas).

Para el subsistema bentónico marino se consideró la información de las campañas de verano e invierno del 2016, correspondiente a los factores abióticos correspondientes a los parámetros físico-químicos del agua, registrados a nivel del fondo en cada punto de muestreo (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, clorofila-a y pH), así como la profundidad. Por otra parte, se incluyeron los parámetros medidos en los sedimentos, referidos al contenido de materia orgánica total (M.O.T), y granulométricos, correspondientes a diámetro promedio ($Diam_{(\bar{x})}$) y grado de selección del sedimento (G.S.). La referida información se encuentra disponible en detalle en el Anexo 3.2.10-2 y el Anexo 3.2.10-3.

Al respecto, se precisa que para el análisis estadístico no se consideraron los parámetros con registros que presentaron valores por debajo de los valores mínimos detectables por el instrumental de laboratorio. De esta manera, para la campaña de verano no se consideraron los valores del contenido de plomo (Pb) y mercurio (Hg). Del mismo modo, para la campaña de invierno tampoco se consideró el contenido de plomo (Pb); así como los parámetros granulométricos (M.O.T., y G.S.) ni los parámetros correspondientes a los factores bióticos (N, S y H') correspondientes a la estación Q6, ubicada en la zona central del área de emplazamiento de las estructuras marinas (ver Plano 3.2.10-2), por no haberse realizado el respectivo muestreo biológico y granulométrico para dicha estación. Las estaciones a partir de las cuales se realizaron estas mediciones corresponden tanto a estaciones cercanas al contexto de las obras marinas del Proyecto (Q1 a Q9), como a estaciones alejadas de éste, tanto hacia el norte como hacia el sur (C1 a C4).

3.6.4 Resultados

3.6.4.1 Contexto Regional

3.6.4.1.1 Ecosistemas Terrestres

Tal como se ha mencionado anteriormente, los ecosistemas están formados por los organismos vivos y el medio en el cual habitan, siendo modelados por las interacciones que se dan entre sus componentes. El identificar los componentes y procesos que dan origen a los distintos tipos de ecosistemas es fundamental para conocer su funcionamiento y variabilidad espacial y temporal (Marquet *et al.*, 1998).

Varios son los elementos físicos que modelan las características de los ecosistemas al relacionarse con los componentes biológicos de estos, y particularmente con la vegetación, entendida ésta como la forma en que los componentes vegetales del ecosistema ocupan el espacio, la que puede ser usada como un buen sustituto del ecosistema completo pues los componentes vegetales: i) permiten la entrada de energía a los ecosistemas, ii) concentran la mayor proporción de biomasa y productividad de los ecosistemas, iii) reflejan la influencia del complejo ambiental y iv) definen la estructura espacial de los ecosistemas (Leuschner, 2005; Pliscoff y Luebert, 2006). A continuación se describen los principales elementos físicos modeladores de la vegetación presente en el área de influencia biológica:

a) *Geomorfología*

Los ecosistemas terrestres del norte de Chile corresponden a ecosistemas desérticos y forman parte de una unidad geomorfológica árida mayor, comprendida entre Perú y el norte de Chile, cuya existencia es el resultado de su posición latitudinal, la corriente marina fría de Humboldt y el efecto de sombra de lluvias que ejerce la Cordillera de los Andes (Arroyo *et al.*, 1988; Marquet *et al.*, 1998). En el extremo norte de Chile, la Cordillera de los Andes pertenece a una gran unidad orográfica del macizo andino conocida como el Altiplano. Este es un sector de tierras altas de América del Sur localizado en los Andes centrales, entre 15° y 27°S aproximadamente, y es compartido por Argentina, Bolivia, Chile y Perú (Charrier, 1997).

El área de influencia del proyecto se desarrolla cercano al límite sur de la región de Tarapacá, la cual de acuerdo a la clasificación de Börgel (1983), presenta seis unidades morfoestructurales, que en un perfil O-E corresponden a: Planicie Litoral, Farellón costero, Cordillera de la Costa y sus depresiones internas, Pampa del Tamarugal, Pediplanos y sistemas de glaciares o pediment, Precordillera.

Planicies Litorales: En el área de influencia, las planicies costeras corresponden a una estrecha franja de una antigua plataforma marina costera, la que se ubica al pie del Farellón Costero que marca el borde oeste de la Cordillera de la Costa. A esta latitud las planicies litorales aparecen como una angosta franja costera de unos 2 a 5 km de ancho. Su altura varía desde 0 m.s.n.m. en la costa, hasta unos 90 m.s.n.m. El borde costero presenta una morfología abrupta e interrumpida por estribaciones desprendidas de la pampa alta y Cordillera de la Costa. En dichos

sectores, el farellón costero se encuentra continuamente afectado por erosión marina (Börgel, 1983).

Farellón Costero: Corresponde a la unidad de pendiente abrupta que se levanta desde el nivel del mar hasta una altitud promedio de 1.000 m, la cual va disminuyendo paulatinamente hacia el sur. Aproximadamente a la latitud donde se localiza el área de influencia de los componentes biológicos del Proyecto, perteneciente al área Puerto, el farellón costero tiene una altitud promedio de 700 m. Su extensión se mantiene relativamente continua, sólo interrumpida por la presencia de quebradas profundas que llegan al mar. Hacia el norte de Iquique el farellón corresponde al nivel actual del mar, correspondiendo al segmento activo de erosión marina, mientras que hacia el sur el escarpe se desplaza ligeramente hacia el interior transformándose en un acantilado inactivo (Börgel, 1983, Quezada *et al.*, 2010).

Cordillera de la Costa y sus depresiones internas: A la latitud del Proyecto, en el área Obras Lineales, la Cordillera de la Costa se presenta como un macizo montañoso conformado por una serie de cordones de cerros de orientación NS y NNW labrados en rocas antiguas. Generalmente, las cumbres de dichos cordones son suaves y con alturas que varían entre los 700 a 1.400 m.s.n.m. Las alturas de los cerros aumentan gradualmente hacia el este hasta llegar al límite con la Pampa (Depresión Central). En su borde occidental, el Farellón Costero, que la pone en contacto con las Planicies Litorales, tiene alturas entre 400 a 700 m.s.n.m. en promedio.

Pampa del Tamarugal: Corresponde a una meseta continua que se desarrolla al oeste de los planos inclinados provenientes de la precordillera. Las quebradas que descienden por estos planos inclinados (o glacis) no cruzan la pampa y pierden su capacidad erosiva (Börgel, 1983). En su borde occidental se ubican la mayoría de los salares y depósitos de salitre de la Pampa. Las alturas promedio en su parte occidental se ubican alrededor de los 900 a 1.000 m.s.n.m., mientras que hacia el este alcanza hasta los 1.300 a 1.400 m.s.n.m. en las cimas de las primeras estribaciones de las serranías precordilleranas. En esta unidad, se localiza una porción del área Obras Lineales dentro del área de influencia de los componentes biológicos del Proyecto.

Pediplanos y sistemas de glacis o pedimentos: Corresponde a una coalescencia de planos inclinados que conecta el ámbito cordillerano con las pampas de la depresión intermedia. Se desarrolla entre las cotas 1.500 y 3.000 m.s.n.m., interrumpida por las incisiones de las quebradas que nacen en la precordillera y cordones prealtiplánicos. En esta unidad, se localizan las áreas Pampa y parte de Obras Lineales, incluidas en el área de influencia de los componentes biológicos del Proyecto.

Precordillera: Corresponde en su mayor parte a una sucesión de sierras orientadas NNE, y que van aumentando rápida y progresivamente en altura a medida que se avanza hacia el este. La Precordillera representa el límite oeste del Macizo Andino, con un ancho variable entre 35 a 60 Km. A la latitud del área de influencia de los componentes biológicos del Proyecto, la Precordillera conforma hacia el este, el primer y más notorio escalón que da paso luego al Altiplano. La unidad presenta un relieve asimétrico: en su parte occidental conforma en su mayor parte una amplia extensión, la que se inicia entre los 4.000 a 4.500 m.s.n.m. y termina hundiéndose bajo el suelo

de la Pampa a los 1.400 m.s.n.m. Su parte oriental (la ladera oriental) es más estrecha, de poca pendiente y relieve muy suave, alcanzando en su base no menos de los 3.700 m.s.n.m.

b) *Clima, temperatura y precipitaciones*

La variación espacial del clima es uno de los principales factores que determinan la variación espacial de la fisonomía de la vegetación a gran escala (Woodward, 1987; Walter 2002). Las condiciones climáticas a nivel regional varían según la altura, pero todas están marcadas por la aridez, bajas precipitaciones, bajos niveles de humedad relativa y un alto nivel de radiación solar con excepción de las ubicadas en la costa.

La región de Tarapacá presenta condiciones de extrema aridez, las que se manifiestan especialmente en la depresión intermedia y en las cuencas intermontañas. La cercanía del mar y las alturas del interior contribuyen a generar cuatro tipos de variaciones climáticas dispuestas en franjas longitudinales que van de oriente a poniente: pasando de clima Árido con Nublados Abundantes (costa, cordillera de la costa y depresiones internas), a Árido Desértico Normal (depresiones internas, pampa del Tamarugal y pediplanos), Árido muy Frío (precordillera) y Frío de Tundra por Altura (cordones prealtiplánicos septentrionales) (Kottek *et al.*, 2006).

En el altiplano, las condiciones climáticas generales están moduladas por el efecto de la altura: la temperatura es baja, el aire es seco y de una presión relativamente baja comparado con las condiciones a nivel del mar (CEA – SAG, 2006).

Otro de los elementos climáticos de relevancia en los ecosistemas del área de influencia del componente biológico está dado por las precipitaciones, pues éstas junto con la temperatura, determinan la cantidad de agua disponible en el suelo y en la atmosfera.

La duración e intensidad de los períodos secos tiende a variar en el espacio geográfico y tienen una fuerte influencia sobre la vegetación (Rundel *et al.*, 1990). En la zona litoral los registros anuales apenas superan algunas décimas de milímetro, y se van intensificando hacia la cordillera durante el período del “Invierno Altiplánico”, llegando a precipitaciones que alcanzan los 100 mm debido a los grandes aportes de humedad provenientes del interior del continente sudamericano. En el Sector Mina y alrededores, el periodo de lluvias se concentra en el verano (diciembre – marzo) cuando llegan a la zona masas de aire húmedas provenientes de la cuenca amazónica. Esto condiciona la existencia de características climáticas únicas en el continente (Aceituno, 1997), las cuales afectan a las especies de fauna y flora presentes (Muñoz y Bonacic, 2006). El clima de la zona altiplánica es seco y frío, con grandes contrastes de temperaturas durante todo el año y lluvias exclusivamente estivales.

c) *Hidrología*

Las condiciones climáticas de la zona también son determinantes de las condiciones de escurrimiento superficial en el área de influencia, las que están dadas por la inexistencia casi total de cursos de agua permanentes. En dichas condiciones, el área de influencia de los componentes

biológicos es predominada por una marcada aridez que se ve interrumpida en la época estival por la llegada de masas de aire húmedo provenientes de la cuenca amazónica produciendo tormentas convectivas entre diciembre y marzo, a las que se adicionan las condiciones de permeabilidad y a la alta evapotranspiración resultan en la absorción de gran parte del agua precipitada. El agua observada en superficie corresponde a afloramientos puntuales de agua subterránea que ocurren en los estrechamientos de los valles por tramos espaciales limitados antes de volver a infiltrarse.

d) *Suelo*

Otro componente físico importante corresponde al suelo, cuyas características generan condiciones que determinan la presencia de tipos particulares de vegetación, encontrándose que suelos formados por partículas finas (limo o arcilla) forman superficies compactas que no permiten que el agua se infiltre fácilmente hacia capas más profundas, mientras que suelos más gruesos (arena) son atravesados por el agua con rapidez, llevándose nutrientes y sales minerales consigo y dejando menor cantidad disponible para ser utilizados por las plantas (Valverde *et al.*, 2005). En el área de influencia, el suelo presenta texturas predominantemente gruesas, en algunas situaciones medias y en el menos de los casos texturas finas, con abundante presencia de fragmentos gruesos en el perfil. Así, estos suelos se caracterizan por presentar un escaso desarrollo y poca disponibilidad hídrica, determinando un bajo contenido de materia orgánica, excepto en los sectores que conforman cuencas cerradas, donde por procesos de paludización (adición de materia orgánica sin humificar sobre material mineral), se observan suelos orgánicos o minerales con alto contenido de materia orgánica. Estas cuencas se conocen localmente como bofedales y sus suelos presentan una alta importancia ambiental ya que sustentan una gran biodiversidad.

e) *Vegetación*

Si bien los componentes físicos o abióticos son determinantes de la vegetación y su fisionomía² en el área de influencia, la vegetación es determina a su vez la distribución y estructura de las comunidades faunísticas presentes en el área de influencia, encontrándose preferencias específicas del uso de la vegetación, ya sea como hábitat (refugio, nidificación) o como fuente de alimentación (animales herbívoros).

En el área de influencia las principales formaciones vegetales corresponden a formaciones con patrones de distribución zonal y azonal, patrón que depende principalmente de la disponibilidad y obtención del recurso hídrico, el que actúa como un factor limitante del desarrollo de la vegetación. Las formaciones con patrón de distribución zonal (formaciones herbáceas y arbustivas), están determinadas por agentes forzantes generales o modeladores del paisaje, que presentan un continuo espacial, como el nivel de precipitaciones estivales, pendiente, exposición y altitud, principalmente (Luebert & Pliscoff, 2006). Por otro lado, la presencia de vegetación

² Entendiéndose fisionomía como el aspecto que presenta la vegetación como resultado de la composición de formas de vida dominantes y de su arreglo estructural horizontal (recubrimiento) y vertical (estratificación). (Luebert y Pliscoff, 2006)

azonal, asociada a suministros hídricos permanentes en el altiplano (humedales altiplánicos), está determinada por condiciones ambientales locales, que se manifiestan a menores escalas espaciales, como por ejemplo las características particulares del suelo o condiciones permanentes de humedad.

Tal como se detalla en la línea de base de flora y vegetación (numeral 3.3.3-1), las formaciones vegetales zonales identificadas en el área de influencia, corresponden a herbazales, conformados por especies herbáceas de crecimiento bajo; pajonales compuestos por especies de gramíneas de crecimiento cespitoso; y matorrales cuyas especies dominantes corresponden a especies arbustivas de crecimiento bajo y de hojas reducidas y resinosas.

Asimismo, la vegetación azonal está conformada por dos tipos de ambientes, humedales y áridos. El ambiente de humedal lo componen los pajonales hídricos caracterizados por especies cespitosas con desarrollo de tallos aéreos, de varios centímetros de altura; matorrales hídricos, compuestos por especies arbustivas asociadas a algún grado de disponibilidad de agua; vegas cuyas especies herbáceas dominantes tienen crecimiento rizomatoso, y bofedales con especies desarrollándose en cojines compactos, de pocos centímetros de altura. Por otro lado, la vegetación azonal de ambientes áridos se caracterizan las asociaciones del género *Tillandsia*, que se distribuyen cubriendo lomas arenosas en pendiente, de amplias extensiones, cuya distribución se sitúa entre 930 y 1.050 metros de altitud. Esta especie, presenta adaptaciones particulares al clima árido y una dependencia por la humedad de neblina (“camanchaca”).

Entre los agentes forzantes que determinan la presencia de este tipo de formaciones, el aporte hídrico es el más importante, existiendo una clara dependencia entre el suministro hídrico y la vegetación azonal hídrica (Luebert & Pliscoff, 2006), la que es sustentada principalmente por la presencia de acuíferos subterráneos; en donde existen afloramientos hídricos a través de surgencias; o suministros hídricos determinados por cursos de aguas superficiales.

Dentro del área de influencia, la vegetación azonal ocupa un 1,1% (545,3Ha) del área de influencia, mientras que la vegetación zonal es la más abundante representando un 28,6% (14.430,4Ha) del área de influencia total (Ver Planos adjuntos en la Línea Base de Flora y Vegetación).

Cabe destacar, en la zona donde se desarrolla el proyecto, tanto los humedales como *tillandsiales*, son áreas de alto valor ambiental debido a que representan una fuente de recurso hídrico y de hábitat para la flora y fauna y de servicios ecosistémicos para los usuarios aledaños.

3.6.4.1.2 Ecosistemas Acuáticos continentales

En la zona Norte de nuestro país la presencia de ecosistemas acuáticos continentales, está condicionada por la existencia de un suministro más o menos constante de agua en un ambiente predominantemente árido. Dichas condiciones permiten la existencia de sistemas vegetacionales particulares conocidos como vegas y bofedales, globalmente denominados humedales; los cuales, según su definición técnica, corresponden a aquellos sistemas que “se establecen en un

ambiente edáfico, principalmente orgánico, caracterizado por una condición hídrica de saturación permanente” (Faúndez y Gajardo, 1993).

Los humedales son ecosistemas de gran importancia por los procesos hidrológicos y ecológicos que en ellos ocurren y la diversidad biológica que sustentan. Entre los procesos hidrológicos que se desarrollan en los humedales se encuentran la recarga de acuíferos, cuando el agua acumulada en el humedal desciende hasta las napas subterráneas, mientras que entre las funciones ecológicas que desarrollan los humedales se cuentan el favorecer la mitigación de las inundaciones y de la erosión costera. Además, a través de la retención, transformación y/o remoción de sedimentos, nutrientes y contaminantes juegan un papel fundamental en los ciclos de la materia y en la calidad de las aguas (Ministerio del Medio Ambiente, 2011). Los humedales generalmente sustentan una importante diversidad biológica y en muchos casos constituyen hábitats críticos para especies seriamente amenazadas. Asimismo, dada su alta productividad, pueden albergar poblaciones muy numerosas.

De acuerdo a la “Guía para la conservación y seguimiento ambiental de humedales altoandinos” (MMA, 2011), y a partir de un enfoque funcional-sistémico, se describieron los Ecotipos de humedales altoandinos. El supuesto fundamental es que los humedales, en términos de biodiversidad, son una expresión de los factores físico-químicos que regulan su estructura y funcionamiento. Para los humedales altoandinos se identifican los siguientes ecotipos:

- i) Evaporación: corresponde a humedales controlados por gradiente de salinidad, donde altos niveles de radiación y escasas precipitaciones provocarían la evaporación gradual del agua. Nombre común: salar.
- ii) Afloramientos subterráneos: son sistemas alimentados por aguas subterráneas con bajo contenido de sólidos disueltos, y dependiendo de la topografía local alimentan sistemas de evaporación. Nombre común: vega, bofedal, humedal.
- iii) Escorrentía: sistemas que a pesar de estar localizados en zonas de alta radiación, no alcanzan niveles elevados de salinidad por la influencia de las precipitaciones que lavan permanentemente los cuerpos de agua. Nombre común: río, arroyo, quebrada, estero, lago.

A diferencia de los ecosistemas terrestres, los humedales suelen presentar una gran variabilidad, tanto en el tiempo como en el espacio. Esto tiene efectos muy importantes sobre la diversidad biológica que habita en los humedales, ya que deben desarrollar adaptaciones para sobrevivir a estos cambios, que pueden llegar a ser muy extremos, por ejemplo, ciclos hidrológicos anuales con períodos de sequía e inundación extremos.

3.6.4.1.3 Ecosistemas Marinos

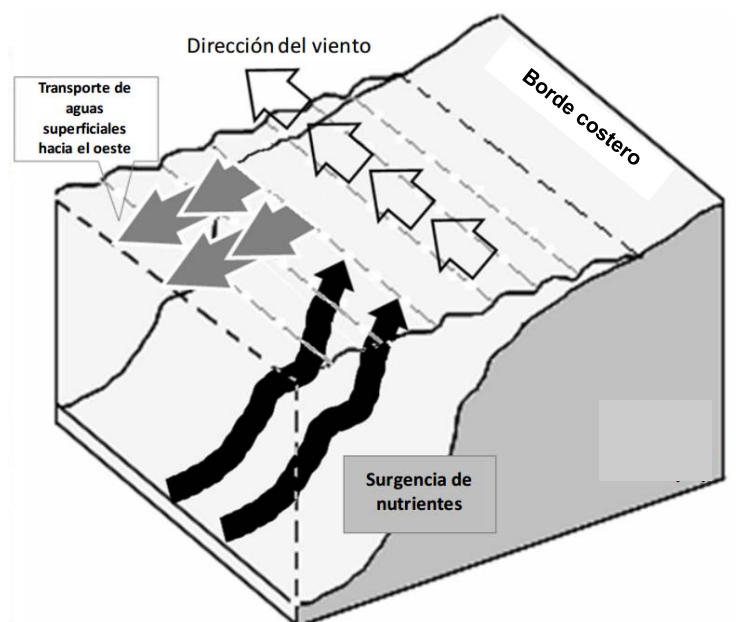
El área de contexto empleada para la caracterización de Línea de Base de ecosistemas marinos, se extiende desde Chanavayita por el norte, y por el sur hasta el límite norte de Playa Chauca (ver Figura 3.6-3). Dicha área marina se ubica al sur de Iquique, en la Región de Tarapacá, y forma parte del Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH), uno de los cuatro principales

sistemas de surgencias o afloramientos costeros inducidos por el viento, y en consecuencia, de mayor productividad a nivel mundial.

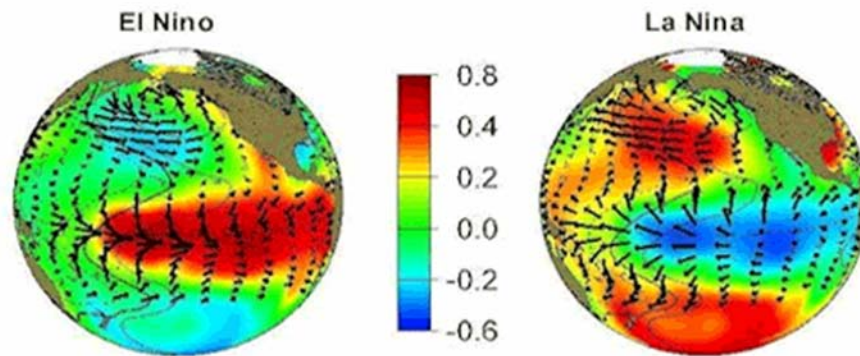
A fin de comprender los procesos responsables de la variabilidad ambiental en el área de influencia del componente biótico marino, es preciso conocer el ámbito y los procesos que rigen el funcionamiento del Sistema de la Corriente de Humboldt. A lo largo de Sudamérica, la gran altura de la Cordillera de los Andes forma una barrera aguda frente al flujo atmosférico de la zona, forzando a que los vientos alisios de sur a este soplen de forma paralela hasta las costas de Chile y Perú (Gunther, 1936; Strub *et al.*, 1998), con consecuentes vientos fuertes costeros (“*wind-jet*”) (Garreaud & Muñoz, 2005). Este régimen de viento origina un flujo oceánico en la capa superficial (10 – 30 m) (Brink *et al.*, 1983), lo que conduce a intensas surgencias oceánicas, a lo largo de la costa, trayendo aguas profundas, frías y ricas en nutrientes hacia la superficie. La Figura 3.6-4, esquematiza el proceso descrito, el cual también es observable en el área de influencia del componente biológico marino.

El afloramiento o surgimiento de aguas frías (cerca de 16°C en la superficie) en la zona costera favorece el desarrollo del plancton vegetal y animal que nutre una cadena trófica de numerosas especies marinas, al transportar elementos nutritivos hacia las capas más superficiales; sin embargo, este ecosistema está periódicamente sometido a un verdadero “estrés” climático, producto de una alta variabilidad ambiental. Eventos del tipo El Niño y La Niña, que corresponden respectivamente a las fases cálida y fría de El Niño-Oscilación del Sur, trastornan en mayor o menor magnitud, durante meses el régimen de los vientos, de las lluvias y de las corrientes marinas, así como las temperaturas del mar y el tenor de oxígeno Figura 3.6-5.

Figura 3.6-4. Representación esquemática de surgencia en el área de influencia.



Fuente: Bertrand *et al.* (2010)

Figura 3.6-5 Fases de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS)

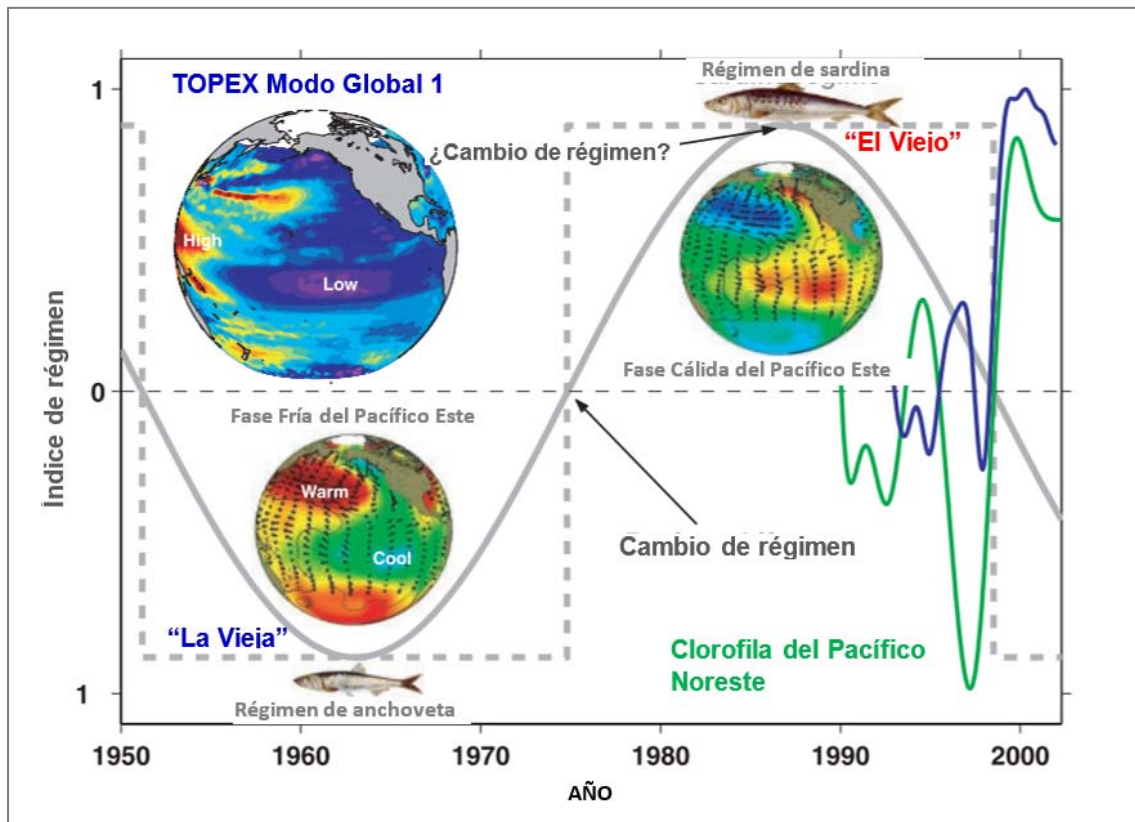
Notas. Temperatura superficial del mar en °C. Las flechas indican el patrón de estrés del viento.

Fuente: NASA

Además de esas oscilaciones océano-climáticas, el ecosistema marino se ve afectado por las variaciones decenales y seculares, reveladas por estudios paleo climáticos (Betrand *et al.*, 2010), que generan distintas respuestas a nivel de la biota, además de acarrear consecuencias a diferentes escalas sobre otros ecosistemas, las cuales potencialmente pueden evidenciarse en el área de influencia del componente biológico; sin embargo son parte de la variabilidad natural de dichos ecosistemas.

Un ejemplo de esto último lo constituyen los cambios climáticos abruptos (cambios de régimen) descritos en los hallazgos de Chávez *et al.* (2003), determinándose que a partir de inicios del decenio de 1950, la temperatura del aire y del océano, el dióxido de carbono atmosférico, los desembarques de anchoveta y sardina y la productividad de los ecosistemas marinos costeros y oceánicos en el Ecosistema de Humboldt, variaron a lo largo de un periodo de 50 años, reportándose que a mediados de los 1970's, el Pacífico Sur cambió de un "régimen frío de anchoveta" a un "régimen cálido de sardina", retornando para fines de la década de los 90's al "régimen frío de anchoveta". De esta forma se observó que dichos cambios de régimen ocurrieron aproximadamente cada 25 años, los cuales fueron descritos como "El Viejo" y "La Vieja" debido a la similitud de estos eventos con los eventos El Niño y La Niña, pero a una mayor escala espacio-temporal.

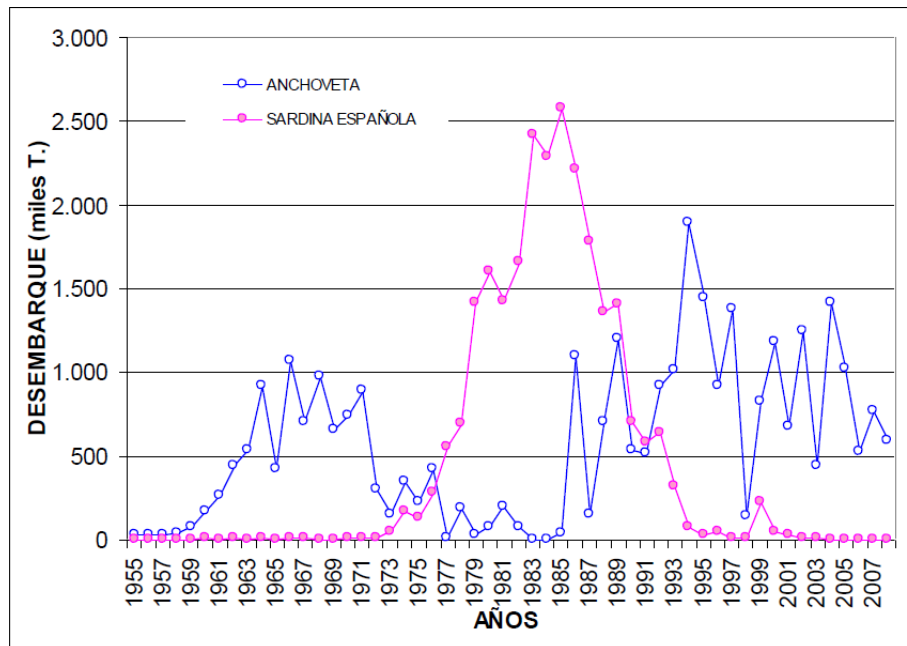
Figura 3.6-6. Escalas temporales, procesos físicos y biológicos asociados



Fuente: Chávez *et al.*, 2001.

Los hallazgos de esta investigación, son concordantes las estadísticas de la evolución histórica de los desembarques de anchoveta y sardina española en la zona norte de Chile, (Regiones XV, I y II). La Figura 3.6-7, muestra la alternancia de la predominancia de desembarques para ambas especies.

Figura 3.6-7. Desembarque histórico de anchoveta y sardina española, Regiones XV, I y II, 1955 - 2008



Fuente: IFOP, 2008

a) *Escalas y forzantes de variabilidad del ambiente marino*

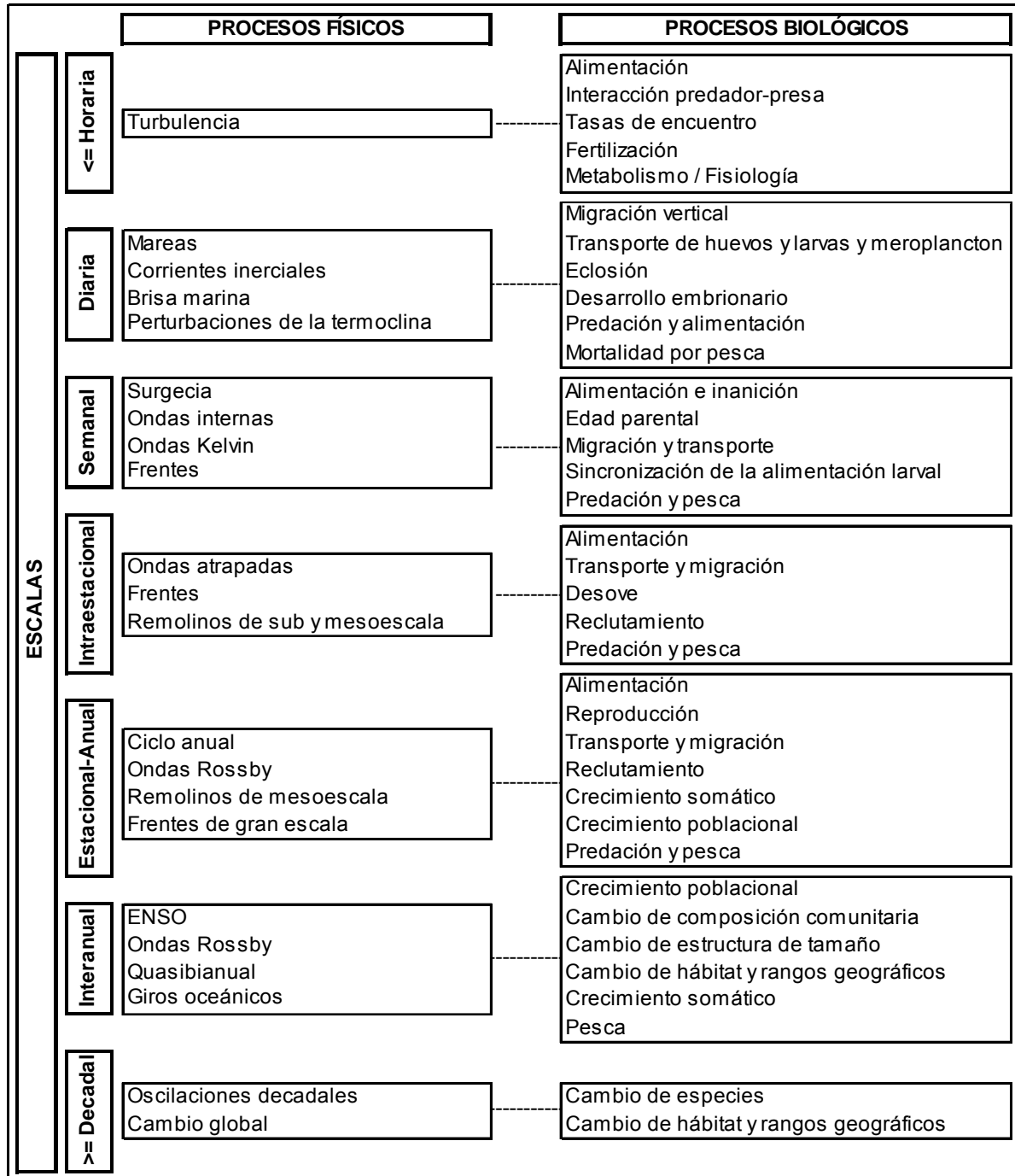
En resumen, la variabilidad del ambiente marino en el Pacífico suroriental, el cual corresponde al área de influencia del componente biológico marino del Proyecto, está determinada principalmente por la acción combinada de: a) fluctuaciones, desde sinópticas a intraestacionales, ligadas al proceso de surgencia costera, b) variabilidad interanual asociada a la alternancia de eventos El Niño y La Niña, incluyendo ondas de Kelvin ecuatoriales, ondas atrapadas a la costa y ondas de Rossby, y c) fluctuaciones interdecadales. Es preciso indicar que si bien los procesos anteriormente descritos, se presentan en diferentes escalas temporales y espaciales, y en diferentes magnitudes, sus efectos pueden ser observables en el área de influencia marina del Proyecto.

Las fluctuaciones de los parámetros poblacionales de las especies presentes en los ecosistemas marinos, tales como la abundancia, biomasa, estructura de edad y patrones de distribución responden, entre otros aspectos, a la variabilidad ambiental. Según Parada *et al.* (2013), tales respuestas son consecuencia tanto de efectos climáticos y oceanográficos (viento, turbulencia, concentración de oxígeno, temperatura) directos sobre los recursos (*i.e.*, sincronización de los períodos reproductivos, retención/advección larval) como indirectos, mediados por cambios inducidos en otros niveles tróficos relacionados (*i.e.* alteración en la cantidad y calidad de la oferta de alimento de adultos y larvas, mecanismos de control del ecosistema).

La Figura 3.6-8 muestra una revisión general de las relaciones ambiente-recurso a diferentes escalas espaciales y de los aspectos específicos que han sido abordados para los recursos objetivo de las pesquerías chilenas en el Sistema de la Corriente de Humboldt, con relevancia

sobre los ecosistemas presentes en el área de influencia del componente biológico marino del Proyecto.

Figura 3.6-8. Escalas temporales, procesos físicos y biológicos asociados



Fuente: Parada *et al.*, 2013

b) *Impactos de El Niño Oscilación Sur- (ENOS) sobre el ecosistema y los recursos marinos*

En Chile, la última fase cálida de ENOS El Niño de características considerables, se presentó en 1997-1998, y la fase fría La Niña se desarrolló inmediatamente después, durante los años 1998-1999. El Niño 97-98 fue uno de los más intensos de las últimas dos décadas, lo que provocó alteraciones en la pesquería. A continuación se describe los impactos de El Niño sobre los principales recursos pesqueros en la zona norte de Chile, donde se ubica el área de influencia del componente biótico marino.

Respecto a los recursos pesqueros en la zona norte de Chile, para los pequeños pelágicos **anchoveta** (*Engraulis ringens*) y **sardina española** (*Sardinops sagax*), se determinaron relaciones entre las fluctuaciones interdecadales y la secuencia del remplazo de anchoveta – sardina – anchoveta (Yáñez *et al.*, 2008), como ya se ha descrito anteriormente (Figura 3.6-7), estableciéndose además una sincronía de estas fluctuaciones entre los stocks del sur de Perú y Norte de Chile, con el stock del Norte-Centro de Chile (Cubillos *et al.*; 2007). Es importante precisar que las fluctuaciones de la abundancia de estas pequeñas especies pelágicas, son de suma importancia, dado que durante las etapas iniciales de su fase de desarrollo, conforman una parte importante del zooplancton (meroplancton), el cual es a su vez es sustento de otras comunidades biológicas marinas presentes en el área de influencia marina.

Por su parte, los recursos bentónicos han evidenciado en algunos casos respuestas positivas y otras veces negativas en términos de las relaciones ambiente-recurso. La **macha** (*Mesodesma donacium*), bivalvo filtrador que habita playas expuestas intermedias-disipativas en el intermareal y el submareal con desarrollo larval pelágico prolongado y caracterizado por altas fluctuaciones interanuales, ha sido objeto de la desaparición de grandes poblaciones coincidentes con eventos cálidos El Niño, tanto en la zona norte de Chile, como en Perú, asociados con aumentos en la temperatura superficial del mar y disminuciones en la salinidad al norte de los 30°S (Riascos *et al.*, 2008). En la actualidad, la extracción de este recurso en el área de influencia del componente biológico marino del Proyecto, es restringida, ya que sus poblaciones aún no se recuperan desde el evento cálido El Niño 97-98.

El **ostión del norte** (*Argopecten purpuratus*), pectínido filtrador; hermafrodita facultativo, de fecundación externa y desarrollo larval planctotrófico pelágico; que habita zonas submareales de sustrato blando (arenoso), en bahías someras. Contrariamente al caso de la macha, sus poblaciones y capturas se incrementan en más de un orden de magnitud tras eventos El Niño (Wolff, 1987); sin embargo durante los últimos años la abundancia del recurso no permite una actividad pesquera extractiva relevante en las caletas ubicadas en el contexto del área de influencia del componente biológico marino.

El **pulpo** (*Octopus mimus*), se distribuye desde el norte de Perú hasta Chile central. Si bien la historia de capturas a nivel interanual refleja el incremento en la demanda del recurso, y se han registrado aumentos marcados en las capturas totales de Perú asociadas a los eventos de El Niño (Cardoso *et al.* 2004), al igual que la expansión hacia el sur con desembarques en Chile,

aún la información respecto a su sobrevivencia larval, disponibilidad alimenticia bentónica, entre otros aspectos, es desconocido. No obstante, el recurso pulpo viene siendo extraído en las caletas del área de influencia marina del proyecto.

El **loco** (*Concholepas concholepas*) se distribuye desde la costa central del Perú a Magallanes (Moreno *et al.*, 1998). Los desembarques de este recurso se incrementaron entre fines de la década de los 70's y comienzos de los 80's, y disminuyeron drásticamente poco después de El Niño 82-83 en la zona norte (Regiones I-III). En la costa del Perú se mencionan efectos negativos de El Niño a consecuencia de una menor disponibilidad de alimento y mayor capturabilidad. Respecto al área de influencia marina, se reportan desembarques durante el presente año, en las caletas de Caramucho, Chanavaya y Chanavayita.

3.6.4.2 Análisis de información biótica y ambiental

3.6.4.2.1 Ecosistemas Terrestres

Tomando como base la información de composición y abundancia florística recopilada durante los trabajos de terreno de Línea de Base de Flora y Vegetación (Numeral 3.3.1, Plantas Vasculares), se evaluó la presencia de un patrón de diferenciación entre los tipos de vegetación presentes en el área de influencia del Proyecto. De acuerdo a la línea base mencionada, el área de influencia se divide en ocho sectores los que en conjunto comprenden una superficie total de 49.832,5 hectáreas, las cuales se detallan de la siguiente forma:

- *Desierto Costero (DC)*: comprende todo el territorio correspondiente a la Cordillera de la Costa y área litoral. En términos de altitud, abarca desde el nivel del mar hasta los 950 m, con una altitud máxima de 1.100 m registrada en la Cordillera de la Costa.
- *Desierto Interior (DI)*: sector que abarca la Pampa del Tamarugal hasta el piedemonte de la Cordillera de los Andes. En términos de altitud, se encuentra entre los 950 y los 2.400 m.s.n.m.
- *Cordón Occidental (CO)*: cordón de cerros de la Cordillera de Los Andes, que va subiendo desde el piedemonte cordillerano hasta encontrarse con el sector Altiplano Mina – Planta (3.300 m.s.n.m).
- *Quebrada Choja - Ramucho (CR)*: tramo de las Quebrada Choja y Ramucho que se encuentra en la parte baja de la cuenca de la Quebrada Blanca. Esta última toma el nombre de “Choja” cuando confluye con la quebrada Ramucho. En términos de altitud, el sector se distribuye entre la los 3.000 y los 3.700 m.s.n.m.
- *Quebradas Huinquentipa - Ornajuno (HO)*: valles que pertenecen a la cuenca de la Quebrada de Guatacondo. El área abarca desde los 3.500 a los 4.400 m.s.n.m. de altitud.
- *Altiplano Mina - Planta (MN)*: sector que rodea al área industrial del proyecto y que abarca las serranías y afluentes de la cuenca de la Quebrada Blanca. Geográficamente se inserta entre el Altiplano y los valles cordilleranos occidentales. Se localiza entre los 3.500 y los 4.600 m.s.n.m. de altitud.
- *Altiplano Cerro Quitala (CQ)*: cumbre que se encuentra al poniente del camino a Pintados, en el Km 90, aproximadamente. Forma parte de una serranía divisoria entre el área de

cordillera más abrupta y las planicies del este. Abarca un rango altitudinal estrecho, entre los 4.150 y los 4.500 m.s.n.m.

- *Altiplano Variante A-97B (VA)*: lomajes y cerros al norte del área industrial, que va desde el camino a Pintados hasta el salar de Coposa. Corresponde a un área inserta en el Altiplano, entre los 4.350 y 4.600 m.s.n.m. de altitud.

Para efectos del presente informe de relaciones ecosistémicas, la información florística recopilada en cada sector fue agrupada y analizada estadísticamente de acuerdo a dos criterios: i) gradiente altitudinal desde costa a cordillera y ii) tipo de recubrimiento de suelo, que puede ser zonal o azonal. En este último criterio, entenderemos a recubrimiento de suelo azonal como las superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas. Domina el tipo biológico herbáceo con coberturas que pueden alcanzar el 100%. Se incluyen vegas, bofedales, pajonales hídricos o formaciones mixtas que incluyen combinaciones de las formaciones anteriores. En base a lo anterior, todas las formaciones azonales se asocian en el altiplano, específicamente a los sectores de quebradas (Huinquintipa – Ornajuno y Choja – Ramucho), Altiplano Mina – Planta y Altiplano Variante A-97B. No obstante lo anterior, para efectos de este informe se les denominará como formaciones azonales al área de los *tillandsiales* asociadas al sector de Desierto Costero, que si bien no cumplen con la definición expuesta, son formaciones escasas y representativas las áreas afectadas por la camanchaca o vaguada costera. En base al anterior, se realizaron los análisis estadísticos de acuerdo a dos metodologías:

- Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS), en el que se representa la distancia entre dos puntos de muestreo como el grado de similitud entre sus comunidades florísticas. En la gráfica, los distintos puntos de muestreo se encuentran representados por triángulos, círculos o cuadrados, los que a su vez presentan distintos colores según correspondan a puntos dentro de formaciones vegetacionales zonales, azonales o áreas desprovistas de vegetación. De esta forma mientras más cercanos se encuentran dos puntos más similitudes presentan en términos de su composición y abundancia florística. Basándose en este análisis se realizaron lo siguiente:

Criterio de gradiente altitudinal:

- Análisis altitudinal de la composición y abundancia florística entre los sectores de desierto costero, desierto interior y cordones occidentales (0 a 3.300 m.s.n.m.).

Criterio de recubrimiento suelo

- Análisis de recubrimiento de suelo (zonal – azonal) asociado a la alta cordillera específicamente al sector Altiplano Mina – Planta.
- Análisis de recubrimiento de suelo (zonal – azonal) asociado las quebradas del altiplano, entre los sectores de quebrada Huinquintipa – Ornajuno y quebrada Ramucho - Choja.
- Para determinar la influencia de los factores abióticos sobre la abundancia de las comunidades florísticas, se realizaron análisis de correspondencia canónica (CCA). Este análisis relaciona

la estructura comunitaria con variables ambientales, en el cual los puntos representan las muestras, los vectores las variables y los porcentajes en los ejes indican cuánto explica cada uno de la varianza total de las comunidades analizadas. Si las variables abióticas incluidas en el análisis se relacionan fuertemente con algún eje, se puede predecir que influyen en el ordenamiento de las muestras a lo largo del eje correspondiente, lo que refleja la variación de la estructura de esas muestras. La influencia de la variable ambiental se refleja en el largo y la cercanía al eje del vector que la representa, y a su vez en el coeficiente de correlación intragrupo (CCI) asociado a dicha variable.

Criterio de gradiente altitudinal:

- Análisis altitudinal de la composición y abundancia florística y su relación con los factores abióticos del suelo, en todos los sectores descritos en el área de influencia (0 a 4.600 m.s.n.m.).

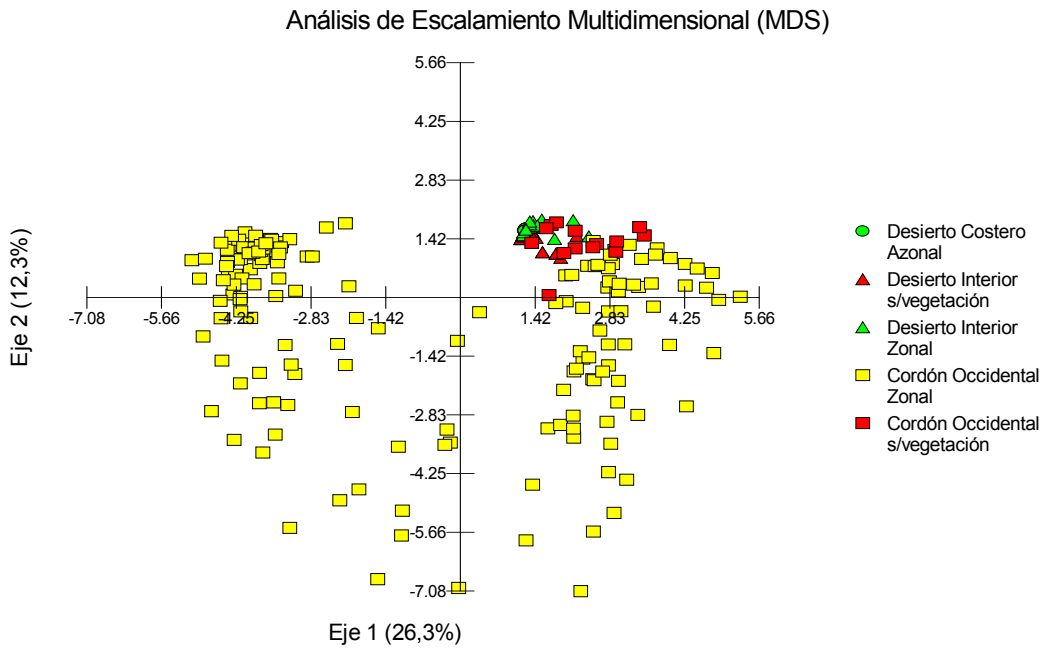
Criterio de recubrimiento suelo

- Análisis de recubrimiento de suelo (zonal – azonal) asociado a la alta cordillera específicamente al sector Altiplano Mina – Planta y Quebrada Huinquentipa – Ornajuno

En la Figura 3.6-9 se observa el resultado del Análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS) para caracterizar la riqueza de flora y vegetación presente en el área de influencia, este análisis se caracterizó de acuerdo a la distribución altitudinal de la composición y abundancia de la flora presente en los sectores de Desierto Costero, Desierto Interior y Cordones Occidentales. En la distribución espacial de los puntos de muestreo se distingue que la mayor asociación corresponde a los puntos de muestreo realizados en áreas zonales del sector cordones occidentales (cuadrados amarillos) distribuidos principalmente a lo largo del eje 1 con un intervalo de confianza del 26,3%, esto sumado al intervalo de confianza del eje 2 (12,3%) resulta en un 38,6% de varianza acumulada. Por su lado, se observa una asociación de los puntos de muestreo realizados en los sectores de Desierto Costero Azonal (*Tillandsiales*), Desierto Interior Sin Vegetación, Desierto Interior Zonal y Cordones Occidentales Sin Vegetación sin una distribución clara, por lo cual se realizó la misma metodología (MDS) excluyendo los puntos zonales del sector de cordones occidentales.

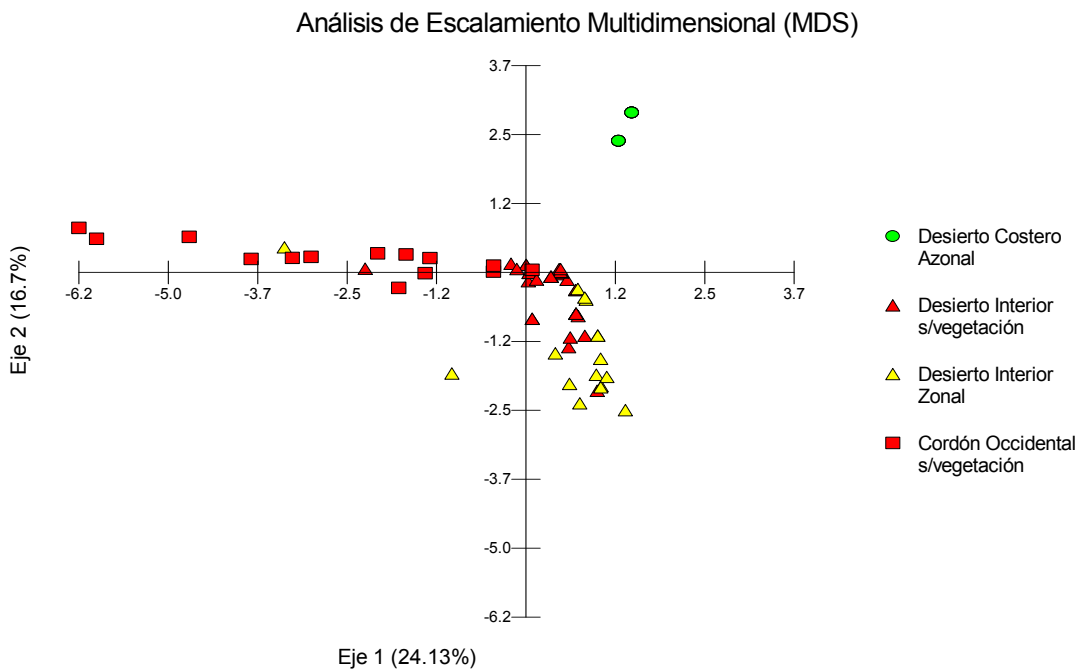
El resultado se observa en la Figura 3.6-10, donde los puntos de muestreo en áreas sin vegetación de los sectores de desierto interior y de los cordones occidentales se distribuyen a lo largo del eje 1 (color rojo). Por su parte el desierto interior zonal (escaso en composición y abundancia florística), presenta una agrupación distribuida a lo largo del eje 2, con una similaridad al mismo sector pero sin vegetación. Finalmente se observa al sector azonal dominado solamente por la especie *Tillandsia landbecki* asociada al sector azonal del Desierto Costero diferenciándose a lo largo del eje 2. Esta distribución presenta un intervalo de confianza del 40.83%, distribuidos entre el eje 1 y 2 en un 24.13% y 16.7% respectivamente.

Figura 3.6-9. Distribución altitudinal de la composición y abundancia de flora en los sectores de Desierto Costero, Desierto Interior y Cordones Occidentales



Fuente: MWH, 2016

Figura 3.6-10. Distribución altitudinal de la composición y abundancia de flora en los sectores de Desierto Costero, Desierto Interior y Cordones Occidentales excluyendo vegetación zonal.



Fuente: MWH, 2016

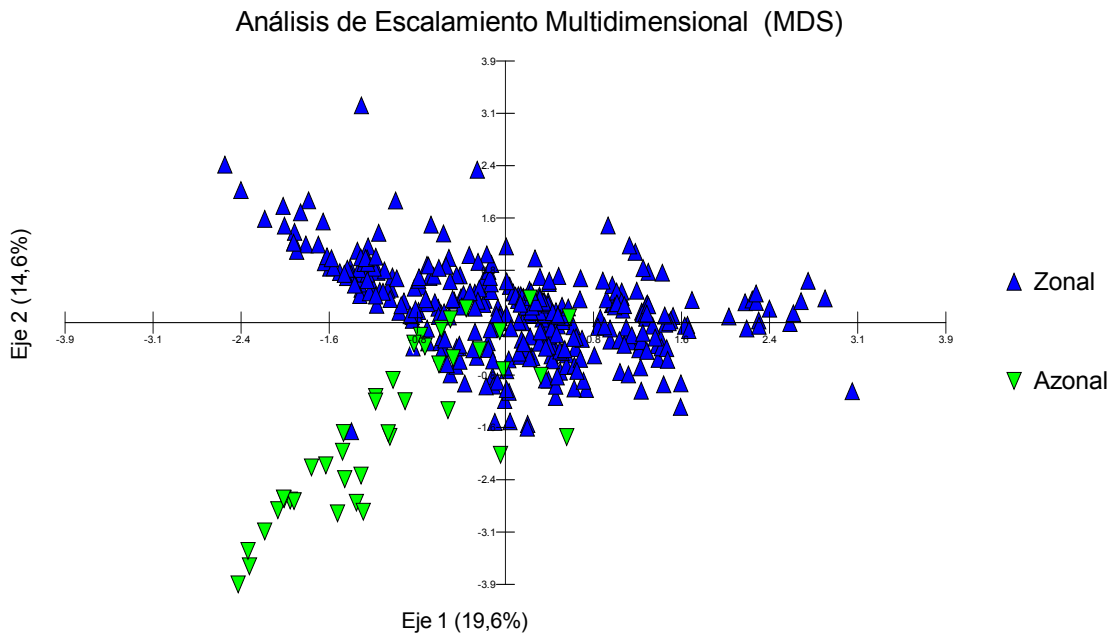
Respecto a la distribución de la composición y abundancia de acuerdo al tipo de recubrimiento de suelo en el sector Mina – Planta se observa una diferenciación entre ambos tipos de recubrimiento a los largo del eje 1 con un intervalo de confianza del 19,6%. La composición florística de las formaciones azonales (triángulos verdes) presenta una distribución a lo largo del eje 2 con una varianza acumulada de 14,6% (Figura 3.6-11). Esta distribución presenta un intervalo de confianza del 34.2%.

Al realizar el mismo análisis para el sector de las principales quebradas asociadas a la zona del altiplano (Figura 3.6-12). Entre los sectores de Qda. Huinquintipa – Ornajuno (triángulos) y Qda Choja – Ramucho (círculos) según el tipo de recubrimiento zonal (amarillo) y azonal (verde) se obtienen los siguientes resultados:

En forma general se observa una diferenciación de las formaciones zonales y azonales, presentando una mayor similaridad las formaciones zonales. Por su parte la quebrada Ramucho – Choja (círculos) presenta dos tipos de asociaciones. De forma general se observa una agrupación asociada a la quebrada propiamente tal (superior izquierda) y de forma interna presenta una diferenciación de acuerdo al tipo cubrimiento de suelo a lo largo del eje 2 (4,6% de varianza acumulada). Por su parte, la quebrada Huinquintipa – Ornajuno presenta una distribución más heterogénea a lo largo del eje principal con un intervalo de confianza de 4,9%, destacando nuevamente la similaridad en las formaciones vegetales zonales.

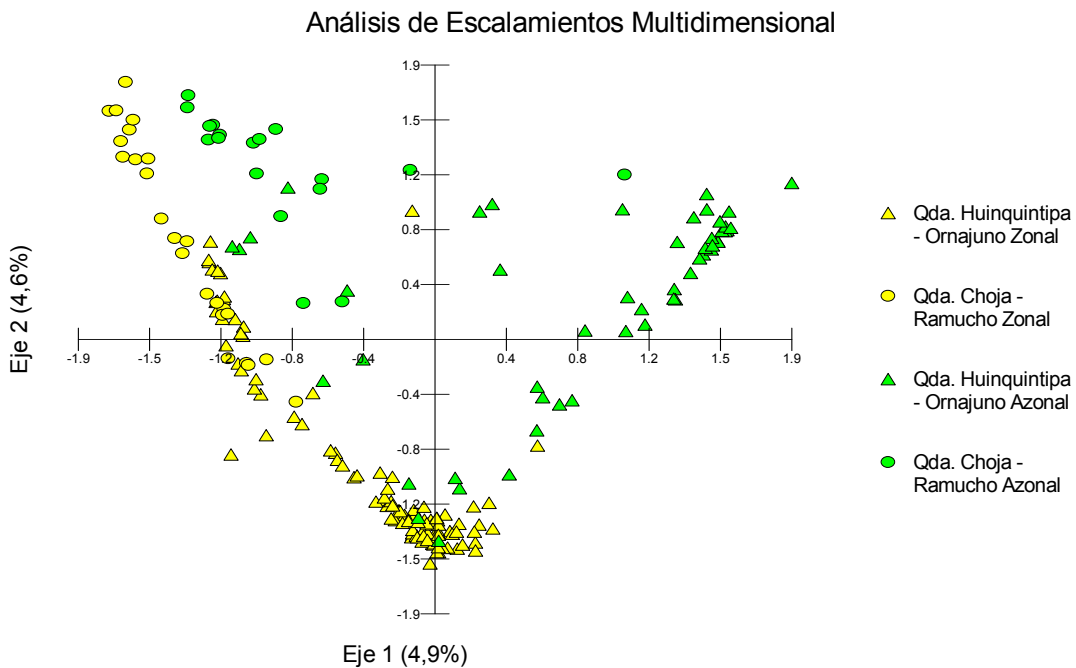
Cabe señalar que la varianza acumulada es bastante menor respecto a los análisis anteriores con un 9,5% de intervalo de confianza. Esto se puede explicar debido a la heterogeneidad de la composición asociada a este tipo de ecosistemas de fondo de quebradas, principalmente a las formaciones azonales dejando en manifiesto la importancia de los recursos hídricos como factores limitantes que regulas los ecosistemas áridos.

Figura 3.6-11. Distribución de la composición y abundancia de flora según recubrimiento de suelo en el sector Altiplano Mina – Planta



Fuente: MWH, 2016

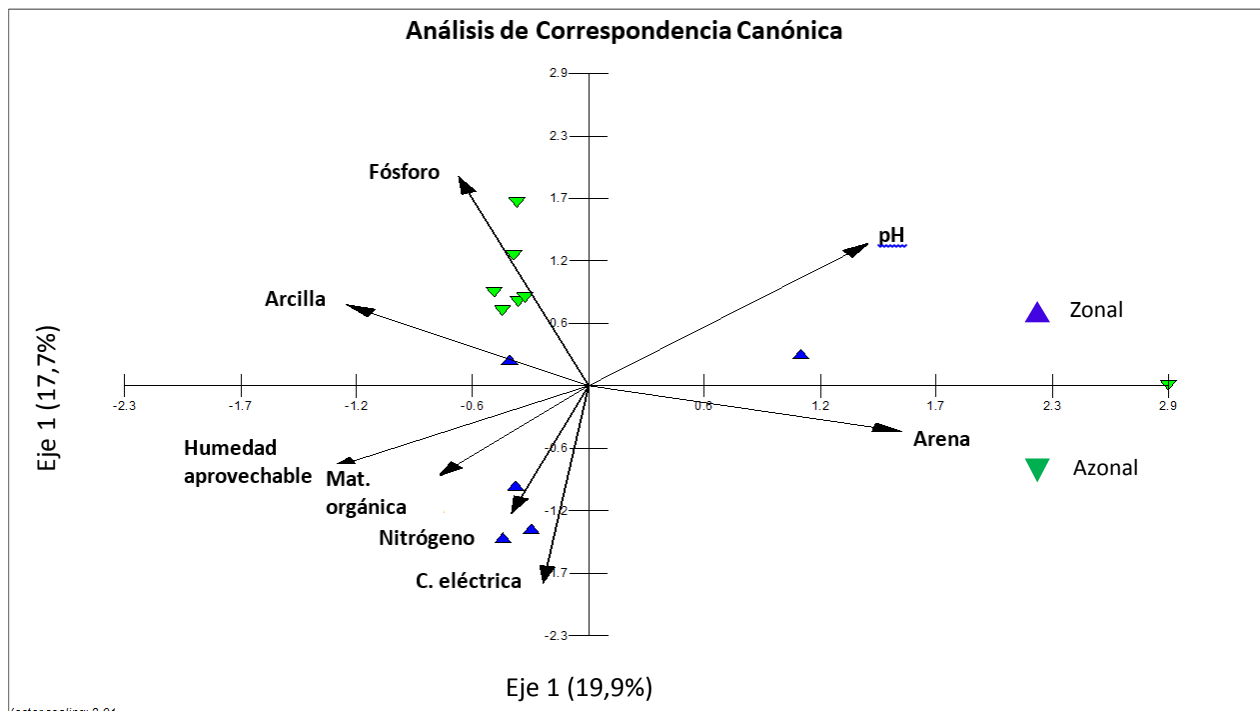
Figura 3.6-12. Distribución de la composición y abundancia de flora según recubrimiento de suelo en los sectores de Qda. Huinquentipa – Ornajuno y Qda. Choja - Ramucho según recubrimiento de suelo.



Fuente: MWH, 2016

En el Análisis de Correspondencia Canónica realizado en el total del área de influencia (Figura 3.6-13), se observa una agrupación de los recubrimientos de suelo azonales a lo largo del eje 2, si bien existe un punto de muestreo en el extremo del eje principal, se debe a que corresponde al muestreo realizado en los *tillandsiales*. El intervalo de confianza corresponde al 37,6% de varianza acumulada. Los parámetros abióticos que mejor explican esta distribución a lo largo del eje principal corresponden al sustrato de arena, el cual es predominante en el sector de Desierto Costero y Desierto Interior y, el pH superficial (CCI: 0,518 y 0,465 respectivamente). Para el eje secundario corresponde a fósforo y la conductividad eléctrica (CCI: -0.643 y 0.607 respectivamente). En la Tabla 3.6-1 se observan los coeficientes de correlación intragrupo para este análisis. Cabe señalar que los valores negativos indican exclusivamente la posición del vector dentro del plano cartesiano.

Figura 3.6-13. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) en la composición y abundancia de la flora versus componente abióticos edáficos según recubrimiento de suelo en el área de influencia.



Fuente: MWH, 2016

Tabla 3.6-1. Coeficiente de Correlación Intragrupo (CCI) obtenido del CCA realizado en el área de influencia.

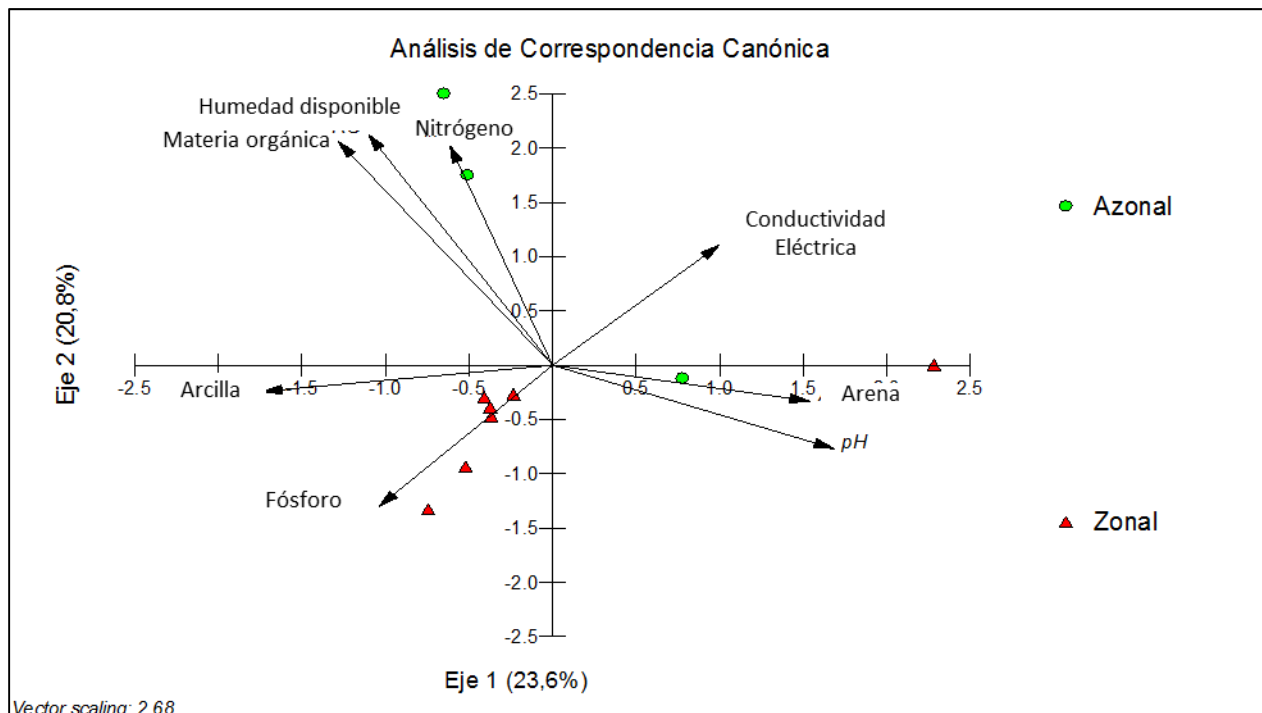
Factores Abióticos	Eje 1	Eje 2
Humedad aprovechable	-0,431	-0,256
pH	0,465	0,439
Conductividad Eléctrica	-0,075	-0,607
Materia orgánica	-0,251	-0,28

Factores Abióticos	Eje 1	Eje 2
Nitrógeno	-0,128	-0,393
Fósforo	-0,215	0,643
Arena	0,518	-0,14
Arcilla	-0,401	0,249

Fuente: MWH, 2016

Para la zona del altiplano (Figura 3.6-14), se observa una diferenciación de las formaciones zonales distribuidas a lo largo del eje secundario con un intervalo de confianza de 20,8%. Por su parte, los puntos de muestreo de los ecosistemas azonales son escasos, no observándose un patrón de agrupamiento claro. Aun así, el eje principal presenta una varianza acumulada del 23,6% obteniendo un total de 44,4% de robustez para este análisis. Al igual que en el análisis anterior, el tipo de sustrato y el pH juega un rol primario en la distribución principalmente de las formaciones zonales con coeficiente de correlación de grupo de -0.655 y 0,633 respectivamente (Tabla 3.6-2). El eje secundario (formaciones azonales), está fuertemente influenciado por los factores abióticos de humedad disponible y materia orgánica (CCI: -0,8 y 0,775 respectivamente), ambos parámetros influyen en la diferenciación de los ecosistemas zonales y azonales. Cabe señalar que los valores negativos del coeficiente de correlación intragrupo (CCI), indican exclusivamente la posición del vector dentro del plano cartesiano.

Figura 3.6-14. Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) en la composición y abundancia de la flora versus componente abióticos edáficos según recubrimiento de suelo en el altiplano.



Fuente: MWH, 2016

Tabla 3.6-2. Coeficiente de Correlación Intragrupo (CCI) obtenido del CCA realizado en el área de influencia.

Factores Abióticos	Eje 1	Eje 2
Arena	0,579	-0,124
Arcilla	-0,655	-0,091
Humedad aprovechable	-0,482	0,775
pH	0,633	-0,289
Conductividad eléctrica	0,375	0,417
Materia Orgánica	-0,415	0,8
Nitrógeno	-0,23	0,76
Fósforo	-0,39	-0,488

Fuente: MWH, 2016

3.6.4.2.2 Ecosistemas Acuáticos continentales

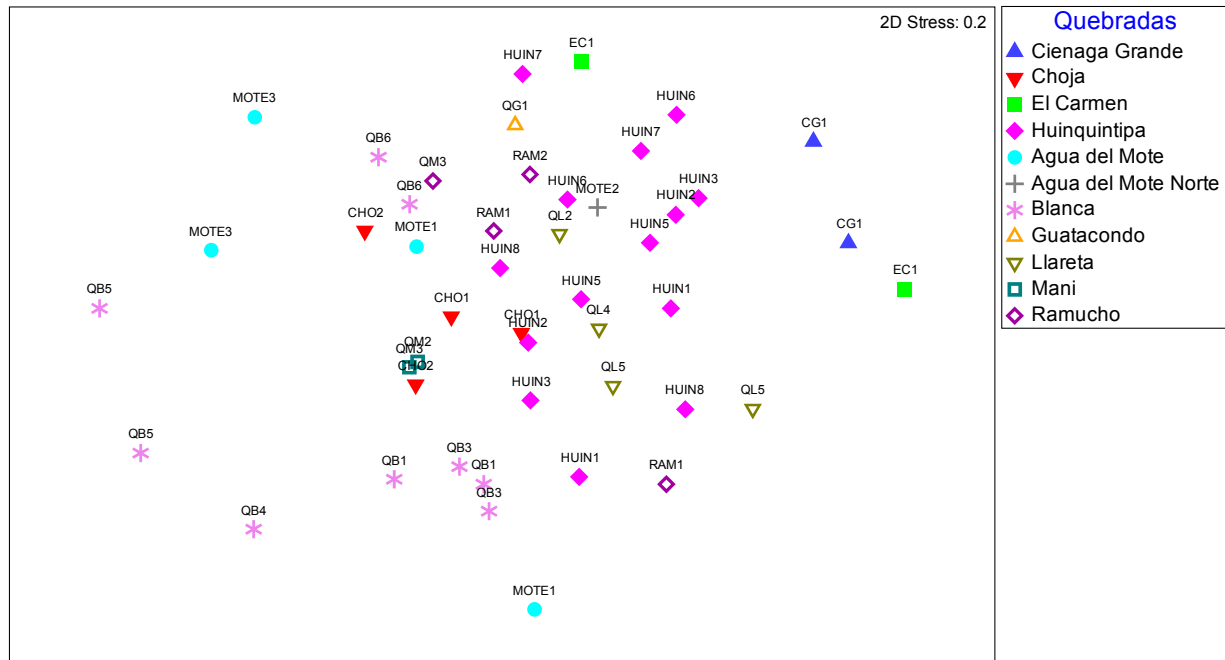
A continuación se describen los resultados obtenidos a partir del análisis de la información biótica y abiótica asociada a los Ecosistemas Acuáticos Continentales presentes en el área de influencia.

a) *Comunidades fitoplanctónicas*

El fitoplancton está constituido por los organismos vegetales microscópicos que se encuentran en la columna de agua, corresponden a los productores primarios de los ecosistemas acuáticos continentales y guardan una estrecha relación con las variables abióticas de la calidad del agua, siendo utilizadas comúnmente como bioindicadores (Bonetto et al., 1982, 1983; del Giorgio et al., 1991; García de Emiliani, 1980, 1986, 1990, 1997; Luque y Martínez de Fabricius, 2000; Mirande et al., 1999; O'Farrell, 1993, 1994; O'Farrell & Izaguirre, 1994; Tracanna et al., 1999; Zalocar de Domitrovic y Vallejos, 1982; Zalocar de Domitrovic, 1990).

Para el caso de los ecosistemas acuáticos continentales presentes en el área de influencia del Proyecto, los análisis de ordenamiento según similitud (MDS) permiten observar que en términos espaciales, las comunidades del fitoplancton se distribuyen de manera heterogénea, no encontrándose patrones de distribución claros entre las quebradas evaluadas (Figura 3.6-15). No obstante lo anterior, se observa que, de la nube general de puntos, existen algunos que se distribuyen hacia la periferia, encontrándose entre éstos los puntos correspondientes a las quebradas Agua del Mote, Ciénaga grande, El Carmen (otoño 2015) y algunos puntos de la quebrada Blanca (QB5 y QB4). Estas quebradas se encuentran insertas total, o parcialmente, dentro del área industrial de la mina (Ver Planos 3.4-00 al 3.4-05). Lo anterior, indicaría que las comunidades fitoplanctónicas de aquellos puntos presentan valores de composición y abundancia que de diferencian de los restantes.

Figura 3.6-15. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) de las comunidades fitoplanctónicas presentes en el área de influencia.



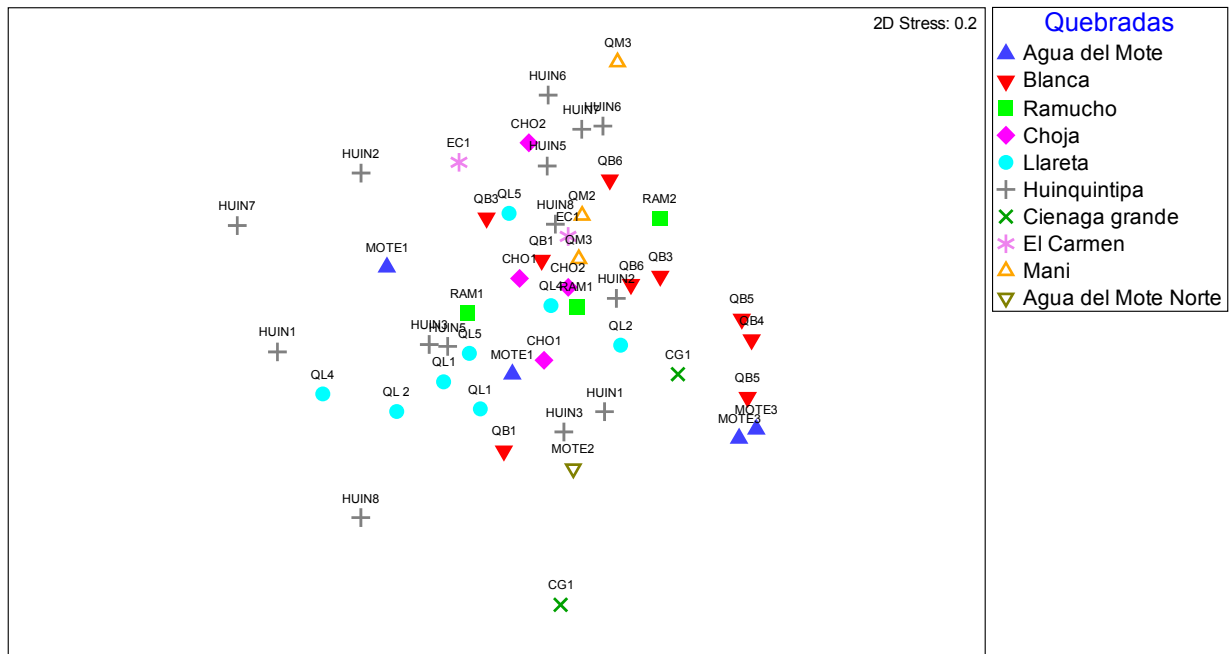
Fuente: MWH, 2016

b) Comunidades fitobentónicas

Al igual que el fitoplancton, las algas de la comunidad del perifiton, también conocidas como fitobentos, son utilizadas como indicadores bióticos, ya que presentan características que permiten describir la dinámica de las condiciones ambientales. Las algas perifíticas, principalmente las diatomeas, son sensibles a la contaminación y otros eventos, y por lo tanto, son usadas para el monitoreo de la contaminación ambiental debido a su imposibilidad de evadir la contaminación por encontrarse adheridas a un sustrato generalmente fijo y responden en cortos periodos de tiempo (MASSERET et al., 1998; WU, 1999; SMITH & SMITH, 2001; HARDING et al., 2005; ARCOS & GÓMEZ, 2006).

Considerando las características antes mencionadas, se utilizó la información disponible respecto de la abundancia y composición del fitobentos en el Área de influencia del Proyecto (Ver Planos 3.4-00 al 3.4-05), obteniéndose el ordenamiento según similitud que se observa en la Figura 3.6-16. El análisis de escalamiento multidimensional (MDS) muestra que no existen agrupaciones claras entre los puntos de muestreo, así como tampoco entre las distintas quebradas, dando cuenta de la heterogeneidad de las comunidades fitobentónicas dentro del área de influencia. De acuerdo a estos resultados, se podría inferir que las variaciones en la calidad del agua entre puntos de muestreo, no determinan variaciones en las comunidades fitobentónicas presentes.

Figura 3.6-16. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) de las comunidades fitobentónicas presentes en el área de influencia.



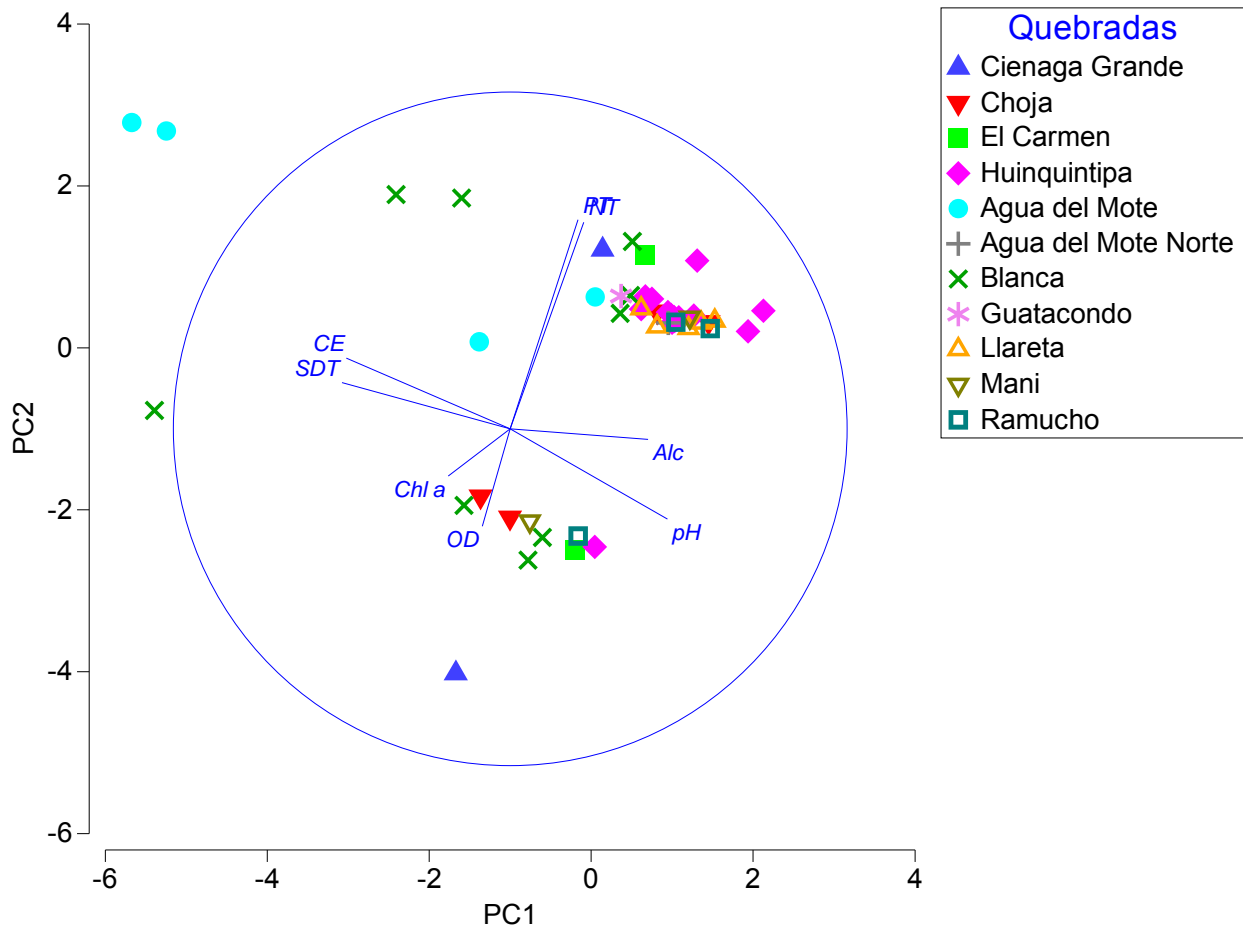
Fuente: MWH, 2016

c) *Variables físico-químicas de la columna de agua*

Respecto al rol de las variables ambientales (calidad físico química del agua) como modeladores de los ecosistemas acuáticos continentales del área de influencia, el Análisis de Componentes Principales (ACP) muestra que las variables Oxígeno disuelto, Conductividad específica, Sólidos disueltos totales, nitrógeno total, fosforo total, alcalinidad total y clorofila a estarían dando cuenta de un 61,5 % de la varianza total (Figura 3.6-17). Específicamente, las variables que aportan de manera más significativa al análisis correspondieron a alcalinidad, pH, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica, explicando el 39,2% de la varianza (PC 1). En segundo lugar, las variables fósforo total, nitrógeno total, clorofila a y oxígeno disuelto, aportan con un 25,9% a la varianza (componente 2).

No obstante lo anterior, y al igual que en los análisis previamente descritos, no se observa una distribución clara de los puntos de muestreo que permita agrupar las quebradas de acuerdo a los valores de las variables de calidad de agua evaluadas (Oxígeno disuelto, Conductividad específica, Sólidos disueltos totales, nitrógeno total, fosforo total, alcalinidad total y clorofila a). Lo anterior, daría cuenta de una distribución azarosa respecto de las variables incluidas en el análisis.

Figura 3.6-17. Análisis de Componentes Principales (ACP) para las variables de calidad del agua en el área de influencia del Proyecto.



Fuente: Elaboración propia. OD=Oxígeno disuelto, CE=Conductividad específica, SDT=Sólidos disueltos totales, NT=nitrógeno total, PT=fosforo total, Alc=alcalinidad total y Chl a=clorofila a.

Fuente: MWH, 2016

3.6.4.2.3 Ecosistemas Marinos

a) Análisis de Factores Bióticos

A continuación se presenta un resumen de las relaciones entre los factores bióticos identificados para cada una de las comunidades biológicas marinas. Un mayor detalle del análisis puede ser revisado en la sección de los resultados de la Línea de Base de Ecosistemas Marinos, y sus respectivos anexos.

En base al análisis comunitario, fue posible determinar que para la comunidad fitoplanctónica presentó una mayor abundancia, riqueza y diversidad de especies durante la campaña de invierno, siendo esta significativamente mayor al resto de las campañas. El análisis de ordenación nMDS basado en la composición específica y la abundancia mostró 3 agrupaciones, verificándose diferencias entre las estructuras comunitarias entre las campañas de verano y otoño

(disimilitud 83,39%), determinadas por la abundancia de la diatomea *Coscinodiscus* spp. y el dinoflagelado *Diplopsalis* sp.

Por otra parte, el análisis de la información comunitaria del zooplancton, mostró que la abundancia no presentó diferencias significativas entre las campañas de muestreo; no obstante, los valores de diversidad de especies calculados para otoño y primavera fueron menores a los observados durante verano e invierno. En términos de la estructura comunitaria, el análisis nMDS mostró la presencia de dos agrupaciones. Una de ellas formada por la estación de primavera, y la otra por los correspondientes a las campañas de invierno, verano y otoño. La disimilitud entre el verano y el otoño fue de un 56.97%. Por otra parte, se determinó una disimilitud de un 66,79% entre las campañas de invierno y primavera.

Para las comunidades intermareales de fondo duro, se observó que su estructura comunitaria que en general, tuvo poca variabilidad durante las cuatro campañas estacionales, pudiéndose diferenciar diferencias entre los grupos formados por las campañas de verano y primavera y lo observado durante otoño e invierno. En general los resultados de clasificación y ordenamiento, no muestran asociaciones relevantes entre los transectos, debido probablemente a la heterogeneidad de sustrato, factores biológicos y oceanográficos presentes en el área de estudio, los cuales mantienen una componente estacional. Por el contrario para las estaciones del intermareal de fondo blando, el análisis nMDS muestra altas similitudes, especialmente durante las campañas de otoño.

Las comunidades submareales de fondos duros FBS, FBP y LT presentaron un mayor grado de cercanía al ser analizados con el ordenamiento nMDS, mientras que la comunidad más distante fue la de suspensívoros (SUSP). Tal como sucede con las comunidades intermareales de fondos duros, no existen evidencias de patrones espaciales de los descriptores comunitarios utilizados (riqueza y diversidad específica).

Finalmente, para el caso de la ictiofauna, se determinó que los parámetro comunitarios evaluados se encuentran distribuidos de forma azarosa, sin llegarse a identificar una mayor concentración de organismos en algún sector en particular.

b) Análisis de ecosistemas (factores bióticos y abióticos)

A continuación se describen las principales relaciones entre los factores bióticos y abióticos (medio físico) identificadas en los ecosistemas marinos a partir de las campañas estacionales de verano e invierno del 2015, para los subsistemas pelágico y bentónico del Ecosistema Marino en el área de contexto del Proyecto.

b.i) *Subsistema pelágico*

- Campaña de verano 2015
 - Variables físico-químicas de la columna de agua

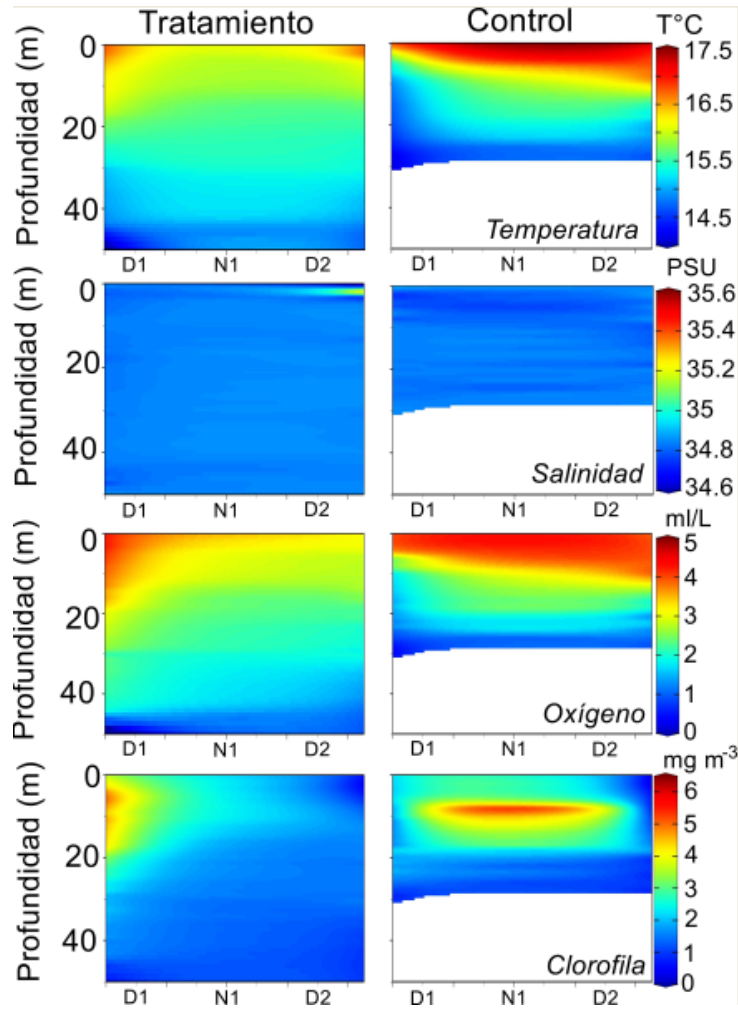
De acuerdo a los perfiles de CTDO desplegados en cada extremo de los transectos muestreados, se pudo observar que además de poseer una mayor profundidad, la temperatura en el sector del área de influencia registró una capa estable con aguas más cálidas por encima de los 30 m, durante los tres días de muestreo, mientras que bajo los 30 metros de profundidad la temperatura baja cerca de 1 °C. El sector Control (sector más somero) se mantuvo con un gradiente de temperatura con valores de 17,4°C en la capa superficial (primeros 5 m) y disminuyendo 2°C aproximadamente a medida que aumentaba la profundidad (Figura 3.6-18. A).

La salinidad mostró un patrón general con valores que fluctuaron entre 34,6 a 34,9 psu. La salinidad presentó valores homogéneos en toda la columna de agua, e incluso en ambos sectores de estudio (Figura 3.6-18. B).

Se observó que la concentración de oxígeno disuelto en el área de contexto de las obras marinas (área de influencia), presentó un gradiente con concentraciones entre 4 ml/l en los primeros metros 20 m de la columna de agua, disminuyendo a valores entre 3 y 1,5 ml/l en los estratos 20-40 m, descendiendo a valores < a 1 ml/l bajo los 40 metros de profundidad, durante el Día 1 (D1). Posterior a este día, en la Noche 2 (N2) y Día 2 (D2) el oxígeno superficial disminuye a 3 ml/l en los primeros metros 20 m de la columna de agua, disminuyendo a valores entre 2 y 1,5 ml/l en los estratos 20-40 m, descendiendo a valores < a 1 ml/l de oxígeno bajo los 40 metros de profundidad. Sin embargo el área de Control registró una estratificación en la columna de agua en relación al oxígeno disuelto, observando una capa superficial oxigenada con valores cercanos a 4 ml/l en los primeros 5 metros y disminuyendo a valores cercanos a 3-1,6 ml/l entre los 10 y 20 m de la columna de agua, bajo esta profundidad se observan valores < 1 ml/l. Esta condición se mantiene en los tres días de muestreo. (Figura 3.6-18. C).

Se observó que la fluorescencia de Clorofila-a fue relativamente baja en ambos sectores con valores diferenciados. En el sector Tratamiento se observa que el día 1 (D1) hay valores de 3 mg/m³ en los primeros 20 m de la columna de agua. Los días posteriores de muestreo los valores de clorofila disminuyen en la superficie a 2 mg/m³ manteniéndose constante en la columna de agua hasta llegar a valores cercanos a 1 mg/m³. El área de Control presentó variaciones en la concentración de Clorofila-a, siendo mayores en la superficie entre 5-4 mg/m³ disminuyendo drásticamente a valores 1 mg/m³, entre los 20 y 30 m de profundidad. (Figura 3.6-18. D).

Figura 3.6-18. Secciones temporales de temperatura (A), salinidad (B), oxígeno disuelto (C) y clorofila-a (D), verano 2015



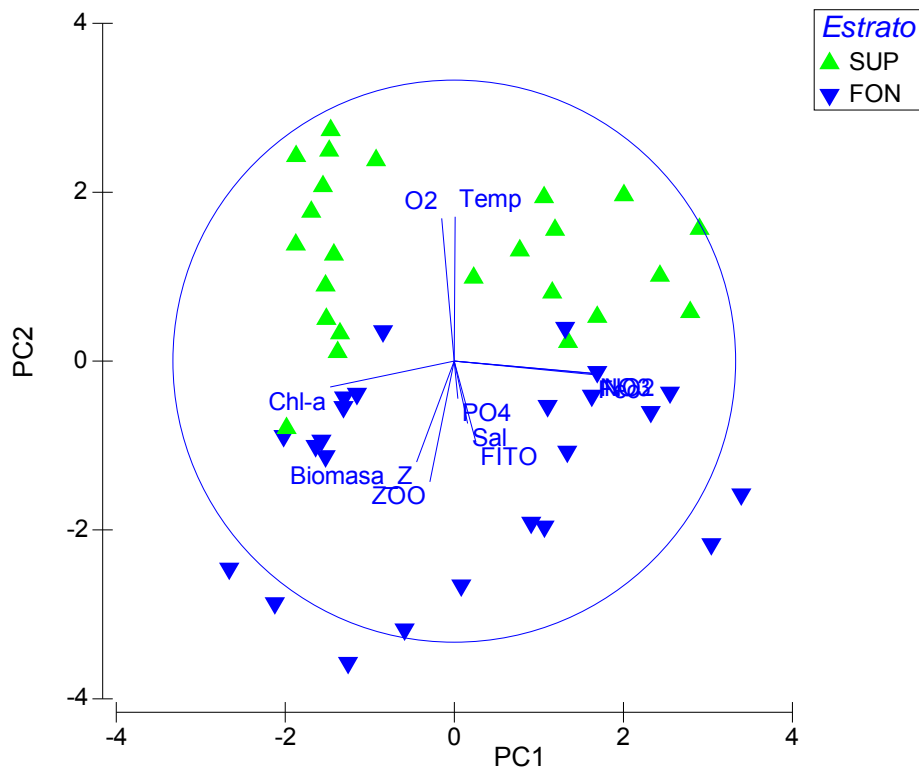
Los muestreos se realizaron el 24, 29 y 30 de marzo 2015, los que corresponden a D1, N1 y D2, respectivamente.
 Fuente: Costasur, 2016

- Análisis exploratorio de datos

El análisis de componentes principales (ACP) realizado a las variables físico-químicas y biológicas obtenidas en la zona de estudio mostró que los nutrientes (nitrito, nitrato, fosfato), temperatura, feopigmentos, salinidad, clorofila-a, oxígeno disuelto, biomasa zooplanctónica y la abundancia de fitoplancton y zooplancton, dieron cuenta del 51% de la varianza total, siendo que el 27,6% de esta varianza es explicada por la Componente 1, y el 23,4% por la Componente 2. Se pudo observar una marcada diferencia entre los estratos Superficial (SUP) y Fondo (FON) evidenciando la estabilidad que se encontraba en la columna de agua en el momento del muestreo.

Entre las relaciones que pueden establecerse para la campaña de verano, están las que se observan entre el oxígeno disuelto y la temperatura, parámetros que a su vez parecen ejercer una mayor influencia a nivel de los estratos superficiales. De manera similar, se observa una estrecha relación entre la biomasa fitoplanctónica y las concentraciones de fosfatos (PO₄) y la salinidad, los cuales está especialmente asociados al estrato de fondo. Por otra parte, también se observan relaciones entre los feopigmentos y las concentraciones de nutrientes (NO₂ y NO₃), relación que se explicaría debido a que este pigmento es producido por la degradación de las células vegetales, con una consecuente liberación de nutrientes en la columna de agua marina (ver Figura 3.6-19).

Figura 3.6-19. Análisis de Componentes Principales - Sistema Pelágico, Verano 2015.



Fuente: MWH, 2016

- Campaña de invierno 2015
 - Variables físico-químicas de la columna de agua

Al igual que para la campaña de verano, durante el invierno del 2015 se obtuvieron secciones temporales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y Clorofila-a de los registros de los perfiles de CTDO desplegado en cada extremo de todos los transectos de ambos sectores muestreados.

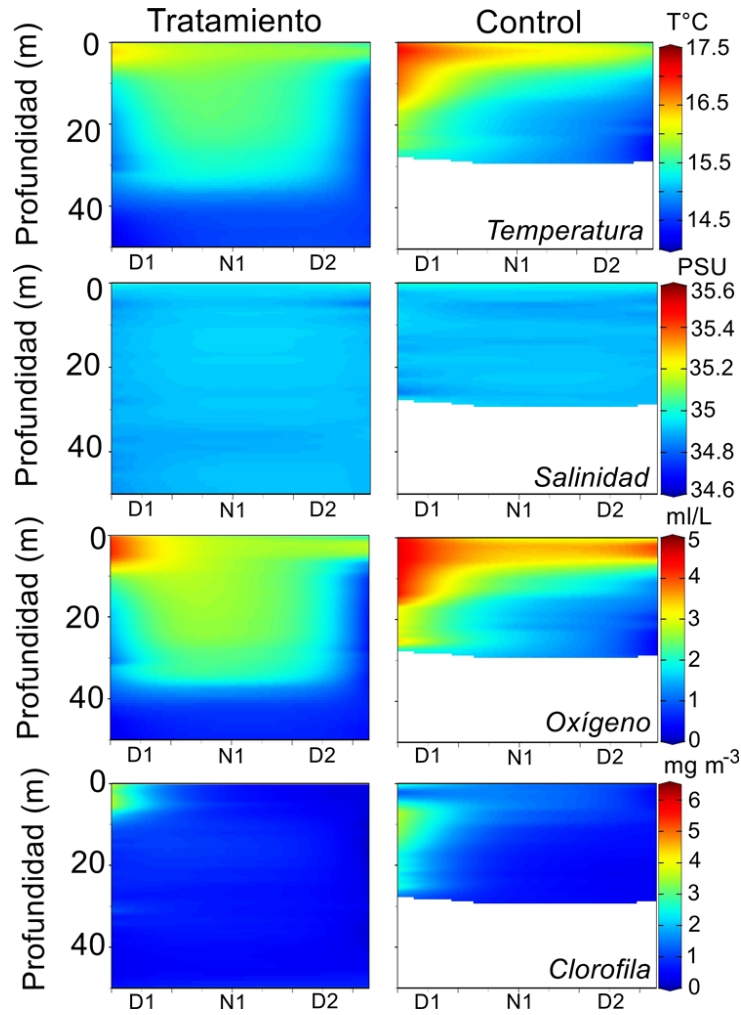
Se pudo observar que la temperatura en el sector del área de influencia registró una capa estable con aguas más cálidas por sobre los 10 m, durante los tres días de obtención de datos, mientras que bajo los 40 metros de profundidad la temperatura baja cerca de 1°C, con respecto de la temperatura superficial. El área Control (sector más somero) se mantuvo con un gradiente de temperatura con valores de 16,6°C en la capa superficial (primeros 3 m) y disminuyendo cerca de 1°C a medida que aumentaba la profundidad. Durante los últimos días de muestreo se pudo observar un afloramiento de aguas más frías que sobrepasaron los 10 m en ambos sectores (Figura 3.6-20-A).

Los registros de salinidad mostraron un patrón general con valores que fluctuaron entre 34,93 a 34,81 psu, manteniéndose estable en la columna de agua durante los días de muestreo (D1, D2 y N1), no existiendo diferencias o anomalías en los sectores estudiados (Figura 3.6-20-B).

Se observó que la concentración de oxígeno disuelto en el sitio tratamiento presentó un gradiente entre los 3,9 ml/l en los primeros 10 metros de la columna de agua, disminuyendo a valores entre 2 y 0,4 ml/l en la capa más profunda (20-50 m). El sector Control también registró una estratificación en la columna de agua en relación al oxígeno disuelto, observando una capa superficial con valores cercanos a 4,1 ml/l en los primeros 10 metros y disminuyendo a valores cercanos a 2 y 0,6 ml/l entre los 20 y 30 m de profundidad. Esta condición se mantiene los dos primeros días de observación (D1 y D2), sin embargo en el último muestreo (N1) se pudo evidenciar un afloramiento de aguas pobres en oxígeno llegando a 10 m de profundidad en el sitio control (Figura 3.6-20-C).

Se observó que la Clorofila-a (estimada ópticamente como la fluorescencia) fue baja en ambos sectores. En el sector Tratamiento se observa que en los tres días de obtención de datos (D1, D2 y N1) se registraron valores de 2 mg/m³ en los primeros 10 m de la columna de agua. Esta condición se mantiene en el tiempo, disminuyendo a valores de hasta 0,3 mg/m³ en el estrato fondo. El sector Control presentó valores cercanos a 3 mg/m³ en los primeros 10 metros de la columna de agua. Estos valores fueron disminuyendo en la zona superficial a medida que paso el tiempo llegando a 0,4 mg/m³ en el último muestreo N1 (Figura 3.6-20-D).

Figura 3.6-20. Secciones temporales de (A) temperatura, (B) salinidad, (C) oxígeno disuelto y (D) clorofila-a., invierno 2015.



Días de muestreo: 4, 7 y 8 de septiembre 2015 (D1, D2 y N1, respectivamente)

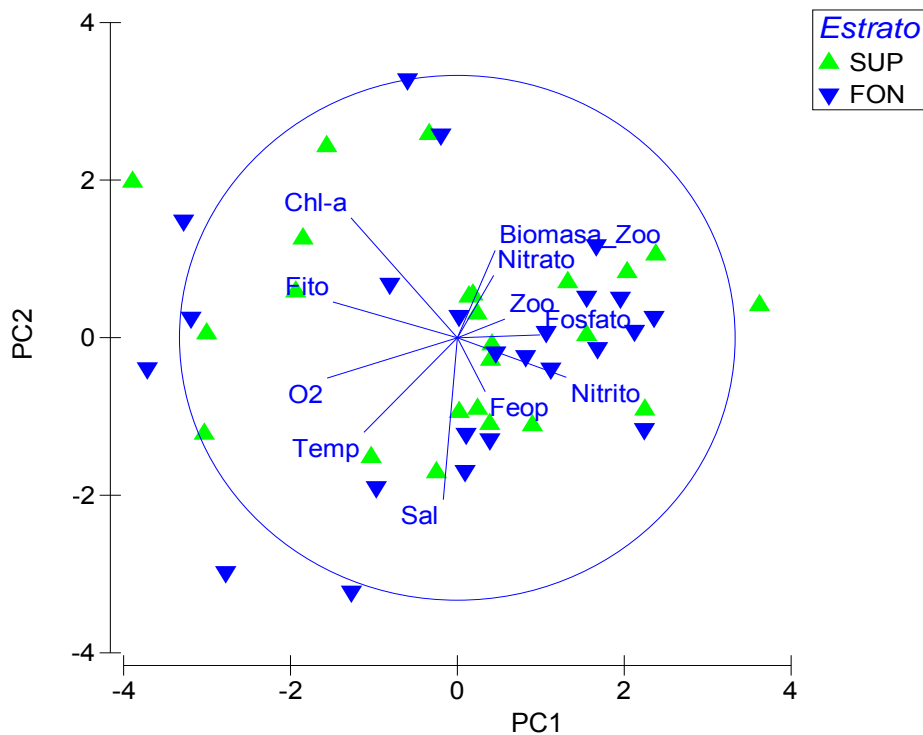
Fuente: Costasur, 2015

- Análisis exploratorio de datos

El análisis de componentes principales (ACP) realizado a las variables físico-químicas y biológicas obtenidas en la zona de estudio mostró que los nutrientes (nitrito, nitrato, fosfato), temperatura, feopigmentos, salinidad, clorofila-a, oxígeno disuelto, biomasa zooplanctónica y la abundancia de fitoplancton y zooplancton, dieron cuenta del 46,4% de la varianza total.

Específicamente, las primeras relaciones importantes son los nutrientes (Nitrito, Nitrato y Fosfato), Biomasa zooplanctónica y la abundancia de zooplancton que explicó el 29,8% de la varianza (Componente-1). La segunda relación importante fue entre la Clorofila- a, Nitrato, Biomasa de zooplancton y abundancia de fitoplancton explicando el 16,6 % de la varianza (Componente-2). A diferencia de los resultados de la campaña de verano, no se observó durante el invierno una diferenciación en el ordenamiento de las estaciones por estrato. Es posible que ante los cambios de las condiciones meteorológicas suscitados como consecuencia de la estacionalidad (incremento de la velocidad del viento, temperatura, presión atmosférica, etc.), que a su vez originan cambios en los patrones oceanográficos (corrientes marinas, turbulencia, etc.), las condiciones sean más homogéneas en la columna de agua (ver Figura 3.6-21).

Figura 3.6-21. Análisis de Componentes Principales - Sistema Pelágico, Invierno 2015.



Fuente: MWH, 2016

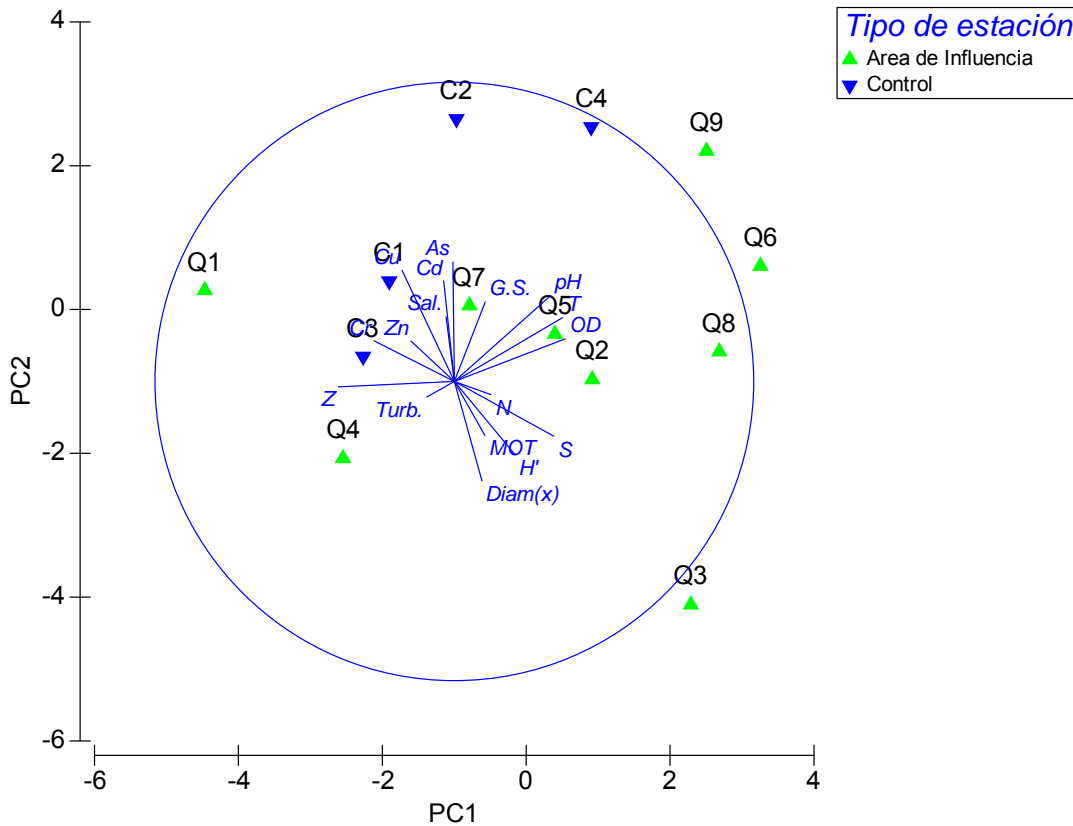
b.ii) *Subsistema bentónico*

- Campaña de verano 2015

El análisis de componentes principales (ACP) de las estaciones de muestreo del sistema bentónico submareal de fondo blando en relación con las variables físico-químicas y biológicas obtenidas en las área evaluada agrupó a dichas variables en 2 componentes principales que en conjunto explican apenas el 48% de la varianza (29.8% la Componente 1, y 18,4% la Componente 2), lo cual explica la dispersión de los puntos correspondientes a las estaciones de muestreo, los cuales no presentaron un ordenamiento asociado a su ubicación respecto al área de influencia del proyecto.

En cuanto a las relaciones entre las variables bióticas y abióticas analizadas, es posible verificar que son las variables del análisis granulométrico, tales como el diámetro del grano ($Diam(x)$) materia orgánica total (M.O.T) las que mejor se relacionan con los parámetros bióticos analizados (riqueza, abundancia y diversidad de especies). Otras relaciones pudieron establecerse entre variables abióticas como aquellas observables entre el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto; así como entre la salinidad en la columna de agua y la presencia de metales en el sedimento. Finalmente, se observa también una relación entre la turbidez y la profundidad (ver Figura 3.6-22).

Figura 3.6-22. Análisis de componentes principales (ACP) - Sistema bentónico, verano 2015



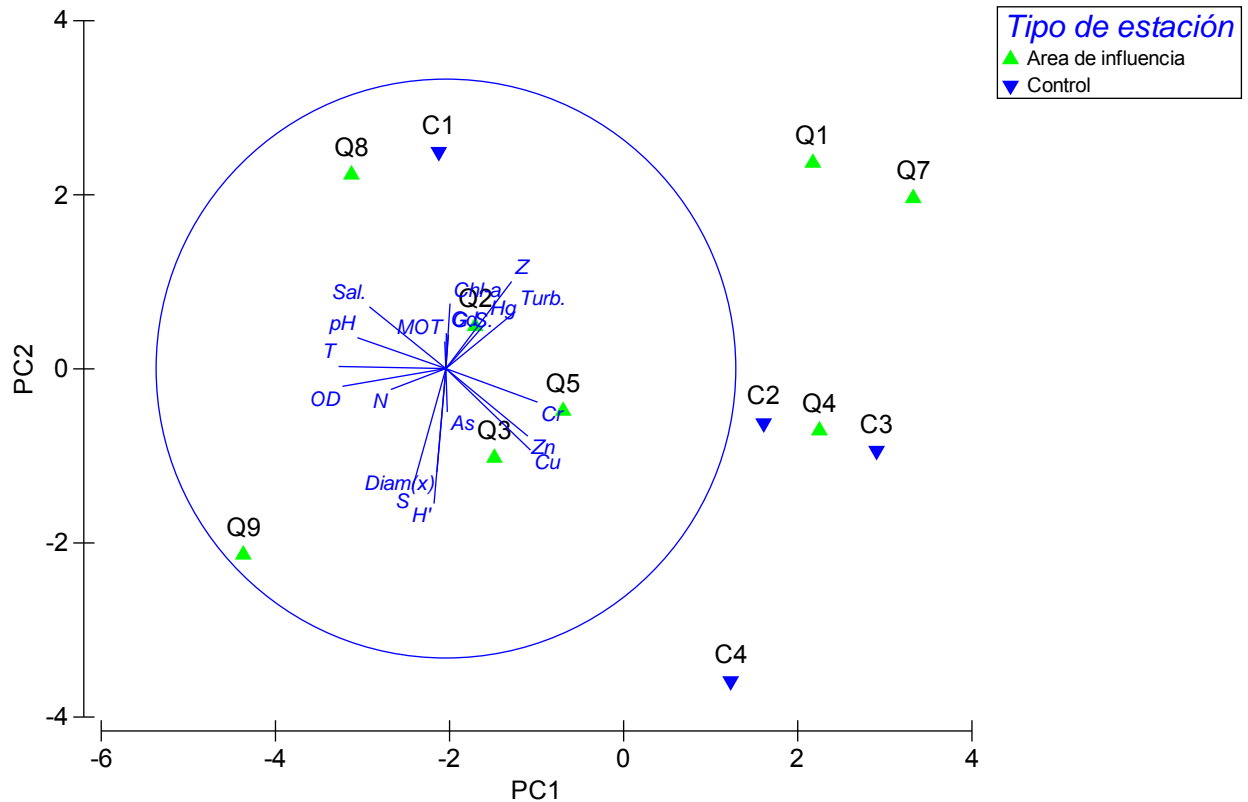
Fuente: MWH, 2016

- Campaña de invierno 2015

De manera similar a lo observado para el análisis de verano, el análisis de componentes principales (ACP) de las estaciones de muestreo del sistema bentónico submareal de fondo blando, agrupó las variables físico-químicas y biológicas en 2 componentes principales que en conjunto explicaron para esta campaña el 51,7% de la varianza, distribuidas en un (32,9% para la Componente-1, y 18,8% para la Componente-2), justificándose de este modo, la dispersión de los puntos correspondientes a las estaciones de muestreo, que de manera similar a lo determinado para el verano, tampoco mostraron un ordenamiento asociado a su ubicación respecto al área de influencia del proyecto.

En cuanto a las relaciones entre las variables bióticas y abióticas analizadas, es posible verificar la relación existente entre la riqueza y la diversidad de especies con el diámetro del grano de los sedimentos ($Diam_{(\bar{x})}$); sin embargo, a diferencia del verano, la materia orgánica total (M.O.T) ya no parece ser relevante en cuanto los parámetros biológicos referidos. Por otra parte también es observable la relación entre los valores de oxígeno disuelto y la abundancia de especies de la comunidad bentónica submareal; así como la relación entre la temperatura, el pH y la salinidad en la columna de agua. Finalmente, se observa también una relación entre la turbidez y la profundidad, así como con el contenido de clorofila-a y la presencia de metales en el sedimento, como el mercurio y el cadmio, lo cual podría deberse a la intensificación de los vientos característica de la estación de invierno, y la consecuente generación de turbulencia en los estratos más profundos de la columna de agua asociados al sistema bentónico (ver Figura 3.6-23).

Figura 3.6-23. Análisis de Componentes Principales (ACP) - Sistema bentónico, invierno 2015



Fuente: MWH, 2016

3.6.4.3 Relaciones tróficas en los ecosistemas

Las relaciones de alimentación que hay entre los diferentes organismos muestran el flujo de la materia y de la energía en los ecosistemas, que va desde los organismos productores hasta los descomponedores, pasando por los consumidores. A estas categorías se las denomina niveles tróficos, y a menudo van asociadas a estrategias tróficas (e.g. herbivorismo, carnivorismo, etc.). Cada nivel trófico agrupa las especies que tienen el mismo tipo de alimentación, de forma que el flujo de materia y energía va pasando de un nivel trófico inferior a los siguientes. En los ecosistemas una misma especie puede alimentarse de ítems dietarios de distinto nivel trófico o bien puede ser consumida por diversos organismos, por lo que estas relaciones, a nivel ecosistémico tienen más bien un aspecto de red, denominadas por ello redes tróficas.

A continuación se describen las principales redes tróficas identificadas en los ecosistemas terrestres, acuáticos continentales y marinos en el área de influencia del Proyecto.

3.6.4.3.1 Ecosistemas Terrestres

a) *Sub-ecosistemas costeros*

El ecosistema Costeros en el cual se emplaza el Proyecto representa un 24,0% del área de influencia del proyecto, lo que corresponde a una superficie total de 11.973,4 hectáreas, se desarrolla entre los 0 y 900 metros de altura. No obstante, el ambiente más representativo del sector es el área desprovista de vegetación el cual abarca el 96,3% de la superficie total del sector. Aun así este ambiente es influenciado por una serie de factores abióticos caracterizados por ser un ecosistema de transición entre el ecosistema marino y pampa, por lo mismo son corredores de flora y fauna (Forman y Godron, 1986) y presentan un alto grado de especies nativas (89,7%). Cabe señalar que hay cinco especies introducidas (10,3%) corresponden a una intervención antrópica como parte de la urbanización de la zona (carretera, caminos rurales e industrias principalmente).

En base a los antecedentes anteriores y otros recopilados en la bibliografía especializada, en Figura 3.6-24 se observa la trama trófica simplificada del ecosistema costero presentes en el área de influencia.

Según muestra la trama trófica, los **productores primarios** caracterizados por una especie de flora (*Tillandsia landbeckii*) y plancton (fitoplancton y zooplancton), ambos cumplen un rol fundamental dentro del ecosistema, pues dan el sustento o base alimenticia a toda la malla trófica, en el caso del plancton a bivalvos y gasterópodos (consumidores primarios) los que a su vez, son consumidos por aves costeras y reptiles. Cabe destacar que en los ecosistemas costeros las mayores precipitaciones se registran en la estación de invierno (junio – agosto). No obstante, la única especie presente en el área es una hierba perenne, por lo cual no se ve influenciado por las estaciones del año.

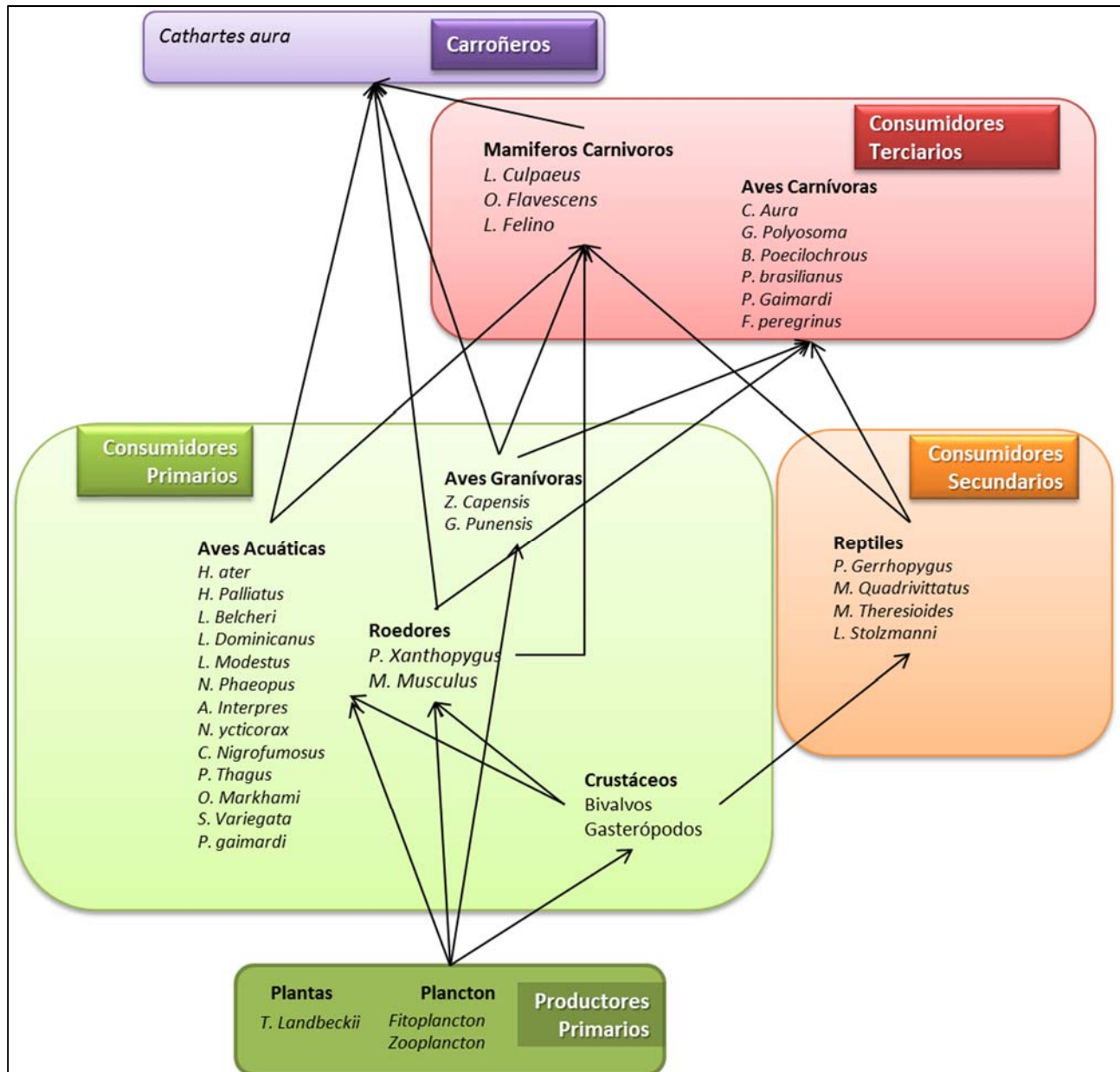
Los **consumidores primarios** obtienen su alimento a partir de los productores o autótrofos destaca la clase molusca los cuales por medio de la “filtración se alimentan de los microorganismos en suspensión. Dentro de los **consumidores secundarios** destaca el reptil *Microlophus quadrivittatus* (corredor de cuatro bandas) que se alimenta principalmente de bivalvos y micromamíferos. Y aves costeras como *Larus modestus* (gaviota Garuma), *Phalacrocorax bougainvillii* (Guanay) y *Oceanodroma markhami* (golondrina de mar negra) entre otras. Todos asociados al ambiente humedal costero.

Con una menor densidad se encuentran los **consumidores terciarios** o carnívoros que se especializan en ser predadores de los consumidores secundarios, en este grupo se encuentran los animales dominantes del ecosistema. Se destaca la presencia de la especie *Pseudalopex culpaeus* (zorro culpeo) siendo el depredador de animales de menor tamaño como micromamíferos, lagartijas y polluelos.

Finalmente se encuentran **los carroñeros** o necrófagos, cuya importancia radica en ser organismos recicladores del ecosistema, cabe destacar que las especies asociadas al grupo

carroñeros (jote cabeza negra) no son exclusivos de este grupo, siendo también considerados consumidores terciarios dentro de la trama trófica y teniendo un estilo oportunista en su alimentación.

Figura 3.6-24. Trama trófica simplificada de ecosistemas presentes ecosistemas costeros



Fuente: MWH, 2016

b) *Sub-ecosistema pampa*

El ecosistema de pampa se emplaza desde los mil metros a 3.500 m.s.n.m. aproximadamente e incluye principalmente el sector de Desierto Interior y en menor medida a Cordones Occidentales sumando alrededor del 47.2% (23.532,5 ha.) de la superficie del área de influencia. Nuevamente

la superficie más representada corresponde al área desprovista de vegetación (85.9%). Este tipo de ecosistema se destaca por su elevada temperatura en el día y bajas en la noche, factores determinantes como la humedad relativamente reducida y escasa precipitación. Esto se ve reflejado en la baja riqueza caracterizada dentro de esta área con tres especies de reptiles, 11 especies de aves y 11 especies de mamíferos (19,7% de la riqueza total). Por lo mismo son las que más rápido reaccionan frente al estrés hídrico, en contraste con la de los ecosistemas con mayor humedad.

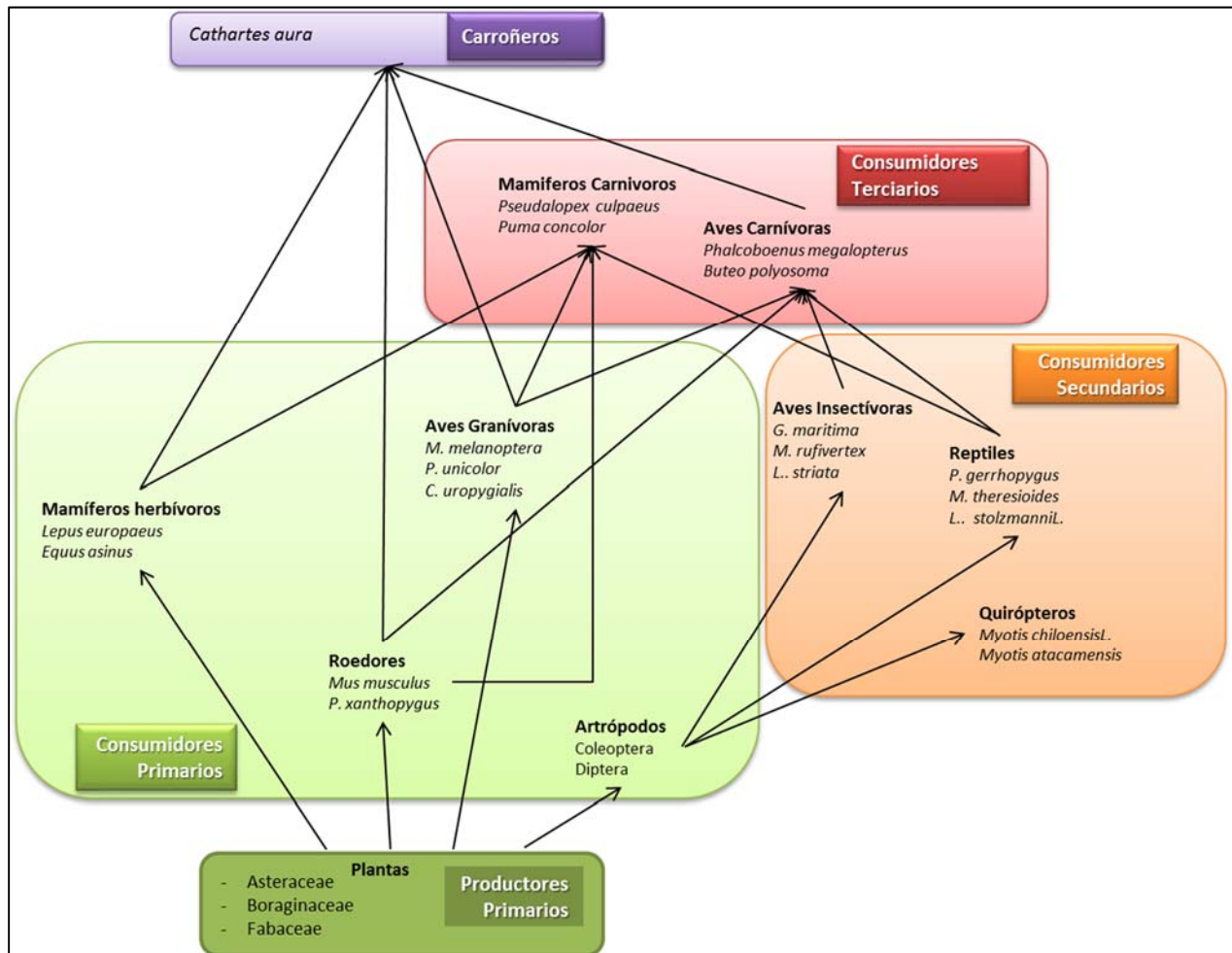
En Figura 3.6-24 se observa la trama trófica simplificada del ecosistema costero presentes en el área de influencia. De acuerdo a la trama trófica, los **productores primarios** caracterizados por 44 taxa de flora entre las cuales las familias más representadas son Asteraceae, Boraginaceae y Fabaceae. Cabe señalar que el 93,6% corresponde a especies nativas adaptadas a condiciones complejas, donde la disponibilidad hídrica presenta la mayor influencia dentro del ecosistema.

Dentro de los **consumidores primarios** destaca la clase molusca los cuales por medio de la “filtración se alimentan de los microorganismos en suspensión. Dentro de los **consumidores secundarios** destaca el reptil *Microlophus quadrivittatus* (corredor de cuatro bandas) que se alimenta principalmente de bivalvos y micromamíferos. Y aves costeras como *Larus modestus* (gaviota Garuma), *Phalacrocorax bougainvillii* (Guanay) y *Oceanodroma markhami* (golondrina de mar negra) entre otras. Todos asociados al ambiente humedal costero.

Con una menor densidad se encuentran los **consumidores terciarios** o carnívoros que se especializan en ser predadores de los consumidores secundarios, en este grupo se encuentran los animales dominantes del ecosistema. Se destaca la presencia de la especie *Pseudalopex culpaeus* (zorro culpeo) siendo el depredador de animales de menor tamaño como micromamíferos, lagartijas y polluelos.

Finalmente se encuentran **los carroñeros** o necrófagos, cuya importancia radica en ser organismos recicladores del ecosistema, cabe destacar que las especies asociadas al grupo carroñeros (jote cabeza negra) no son exclusivos de este grupo, siendo también considerados consumidores terciarios dentro de la trama trófica y teniendo un estilo oportunista en su alimentación.

Figura 3.6-25. Trama trófica simplificada de ecosistemas presentes en ecosistema de pampa



Fuente: MWH, 2016

c) *Sub-ecosistemas de la Puna*

El ecosistema de la Puna (o estepa arbustiva pre-altiplánica), piso vegetacional en el cual se emplaza el Proyecto, se desarrolla por sobre los 3.500 metros de altura, siendo influenciado por una serie de factores abióticos caracterizados por i) una presión parcial de oxígeno y de dióxido de carbono, baja presión absoluta de vapor, y alta radiación solar, ii) suelos con baja disponibilidad de nutrientes, iii) bajas temperaturas con gran oscilación térmica y iv) una marcada aridez (Jaksic *et al* 1997). Estas características condicionan un tipo de vegetación arbustiva (matorrales) promediando una altura mediana-baja con áreas de ecotono compuesta por salares. Por lo tanto, las especies de fauna que componen este ecosistema presentan características fisiológicas que les permite enfrentar ambientes rigurosos, principalmente en relación a la disponibilidad de agua, cantidad y calidad de recursos y temperaturas extremas (Marquet *et al* 1998). Las especies faunísticas presentes en el área de influencia son, en su mayoría, nativas (sobre el 95%), registrándose la presencia de sólo dos especies introducidas, *Equus asinus*

(burro) y *Lepus europaeus* (liebre europea). Lo anterior, corrobora de cierta forma, que las especies presentes en el área de influencia corresponden a especies adaptadas a este tipo de ecosistemas.

En base a los antecedentes anteriores y otros recopilados en la bibliografía especializada se presenta, en la Figura 3.6-26 se observa la trama trófica simplificada de los ecosistemas presentes en el área de influencia.

Según muestra la trama trófica, dentro de los **productores primarios** más frecuentes en el área de influencia se puede nombrar *F. chrysophylla*, *P. quadrangularis*, *P. lucida* y *D. curvula*. Cabe destacar, los ecosistemas de la puna las mayores precipitaciones se registran en la estación de verano, por lo que durante las estaciones secas las plantas herbáceas mueren o pierden las partes verdes, conservando sólo las raíces y tallos en el suelo o subsuelo, los que son igualmente aprovechados por lo animales.

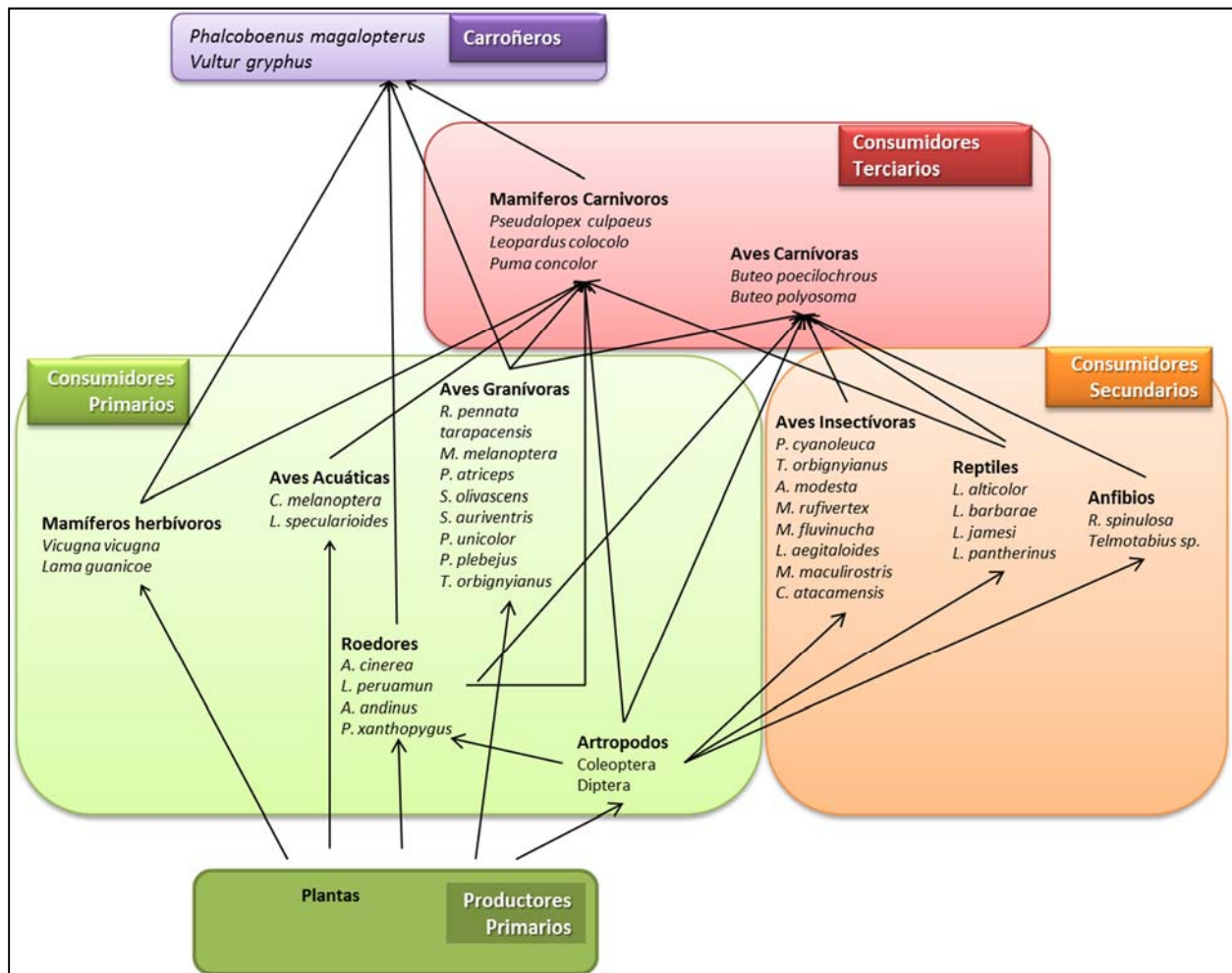
Dentro de los **consumidores primarios** se destacan los macro-mamíferos *Vicugna vicugna* (vicuña) y *Lama guanicoe* (llama) asociados a quebradas. En este grupo funcional destacan también los micro-mamíferos del género *Phyllotis*, *Akodon* y *Abrothrix*, que se asocian principalmente a las quebradas y áreas de gran cobertura vegetal y los artrópodos, principalmente coleópteros, que en condiciones favorables aumentan su densidad, saliendo de su estadio larval para aprovechar el polen y hojas de las estaciones más calurosas. Es importante destacar que una gran cantidad de taxa del grupo de los artrópodos presenta una estrecha relación con los ecosistemas acuáticos continentales pues se desarrollan en ellos durante parte de ciclo de vida. Entre los consumidores primarios se encuentra también a las Aves acuáticas, representadas por el piauquén (*C. melanoptera*) y el pato juarjual (*L. specularioides*), y a las Aves granívoras, entre las que se puede nombrar al suri (*Rhea pennata tarapacensis*), pájaro plomo (*Phrygilus unicolor*), cometocino del norte (*Phrygilus atriceps*), entre otros.

El grupo de los **consumidores secundarios** está representado por aves insectívoras, reptiles y anfibios, todos con una dieta insectívora. Entre estos se destaca la especie *Rhinella spinulosa* (sapo de rulo), asociada al sector de quebradas (Huinquintipa y Ramucho), y de vegas en la quebrada Blanca, y que se presenta con una considerable densidad en dicho sector. Es importante destacar la estrecha relación de la clase anfibio con los ecosistemas acuáticos continentales, pues desarrollan gran parte de su ciclo de vida en fase acuática.

Con una menor densidad se encuentran los **consumidores terciarios** destacando la especie *Puma concolor* (puma) y *Leopardus colocolo* (colo-colo), siendo el depredador por excelencia de animales domésticos como burros, llamas y micromamíferos en la zona.

En los **carroñeros** destacan las especies cóndor y carancho. Como se describió para otros carroñeros, no son exclusivos de este grupo, siendo también considerados consumidores terciarios dentro de la trama trófica y teniendo un estilo oportunista en su alimentación.

Figura 3.6-26. Trama trófica simplificada de ecosistemas presentes en ecosistema de puna



Fuente: MWH, 2016

3.6.4.3.2 Ecosistemas Acuáticos continentales

En base a los antecedentes recopilados en la bibliografía especializada se presenta, en la Figura 3.6-27, la trama trófica simplificada de los ecosistemas acuáticos continentales presentes en el área de influencia.

Según muestra la trama trófica, los **productores primarios** cumplen un rol fundamental dentro del ecosistema, pues dan el sustento o base alimenticia a toda la malla trófica. En los ecosistemas acuáticos los productores primarios están representados por los organismos autótrofos, correspondientes al fitoplancton, fitobentos y macrófitas. Algunos taxa representantes de la comunidad fitoplanctonica corresponden a: *Fragilaria sp* y *Chlamydomonas sp.*, mientras que entre el fitobentos destaca *Achnanthisdium sp* y *Nostoc*, entre otras.

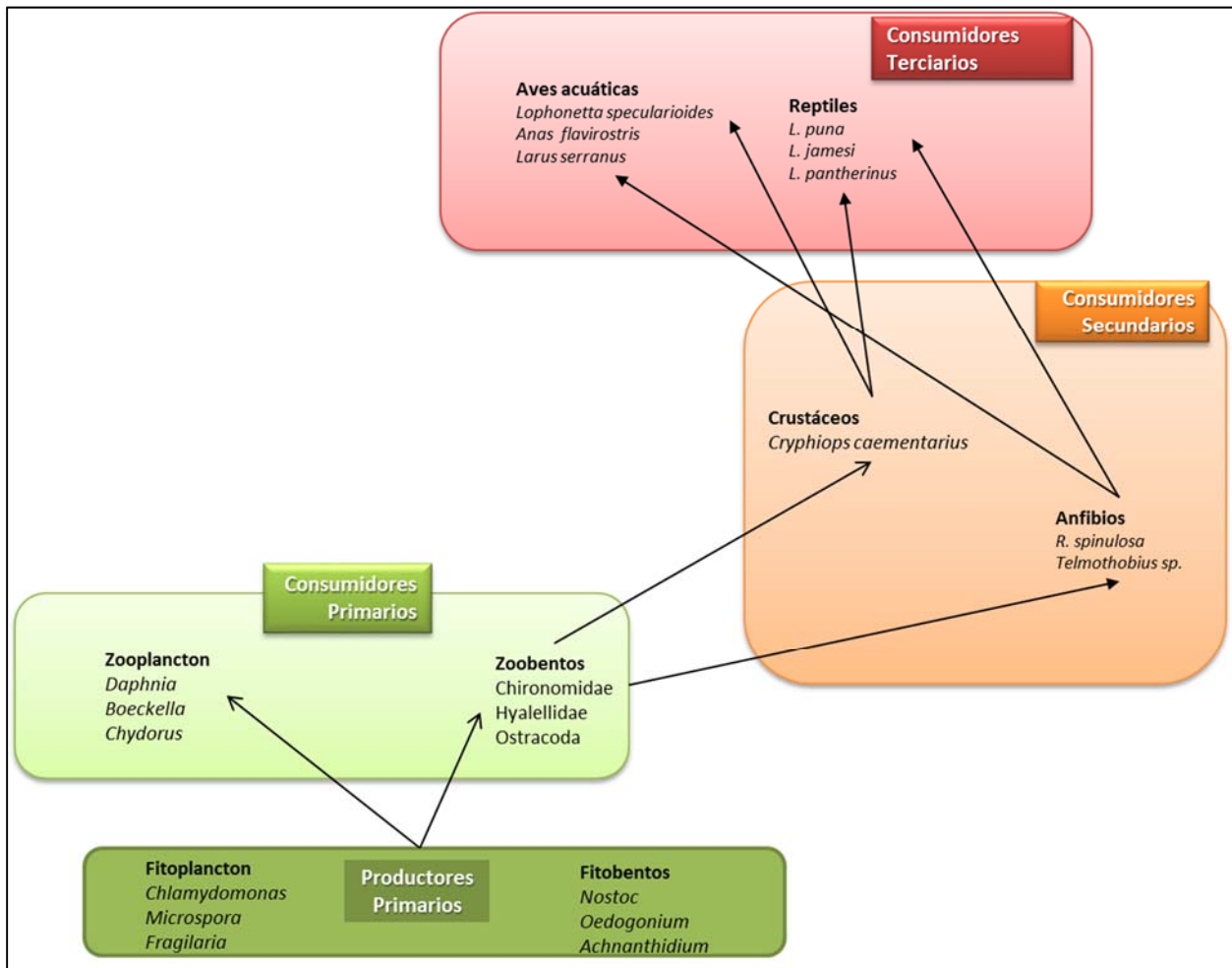
Los **consumidores primarios** obtienen su alimento a partir de los productores primarios o autótrofos. Para los ecosistemas acuáticos continentales, este grupo funcional está representado

por el zooplancton y zoobentos, que corresponden a organismos animales y protozoarios que viven en la columna de agua en el caso de los primeros y adheridos a un sustrato, en el segundo caso. El zooplancton está conformado por microcrustáceos y rotíferos, y particularmente en el área de influencia destacaron taxa como *Daphnia*, *Boeckella* y *Chydorus*, géneros altamente distribuidos entre los sistemas acuáticos continentales. Por otra parte, el zoobentos está formado por pequeños crustáceos, larvas de insectos y moluscos, entre otros. En al área de influencia, destacaron los taxa Chironomidae, Hyalellidae y Ostracoda como los de mayor distribución dentro de la comunidad del zoobentos.

El grupo de los **consumidores secundarios** está representado, en los ecosistemas acuáticos continentales por algunos crustáceos dulceacuícolas y, en el caso particular de los sistemas incluidos en el área de influencia, por lo anfibios (larva y adultos). Entre estos se destaca la especie *Rhinella spinulosa* (sapo de rulo), asociada al sector de Ramucho, al igual que la especie *Telmathobius* sp. Es importante destacar la estrecha relación de la clase anfibio con los ecosistemas acuáticos continentales, pues desarrollan gran parte de su ciclo de vida en fase acuática. Cabe destacar, que en la Figura 3.6-27, se ha incluido a modo de referencia la especie *Cryphiops caementarius* (camarón del norte), pues si bien no se encontró presente en el área de influencia, si se ha descrito en otras cuencas de la Región.

Con una menor densidad se encuentran los **consumidores terciarios** que se especializan en ser predadores de los consumidores secundarios, en este grupo se encuentran los animales dominantes del ecosistema. Para los ecosistemas acuáticos continentales, este rol se asocia a las aves acuáticas y a los reptiles. Entre las aves acuáticas destacan las especies *Lophonetta specularioides* (Juarjuel), *Anas flavirostris* (Jergón chico) y *Larus serranus* (Gaviota andina), mientras que entre los reptiles destaca *Liolaemus puna* (lagartija), *Liolaemus jamesi* (Jararanco de James) y *Liolaemus pantherinus* (lagartija pantera).

Figura 3.6-27. Trama trófica simplificada de ecosistemas acuáticos continentales presentes en el área de influencia del Proyecto



Fuente: MWH, 2016

3.6.4.3.3 Ecosistemas Marinos

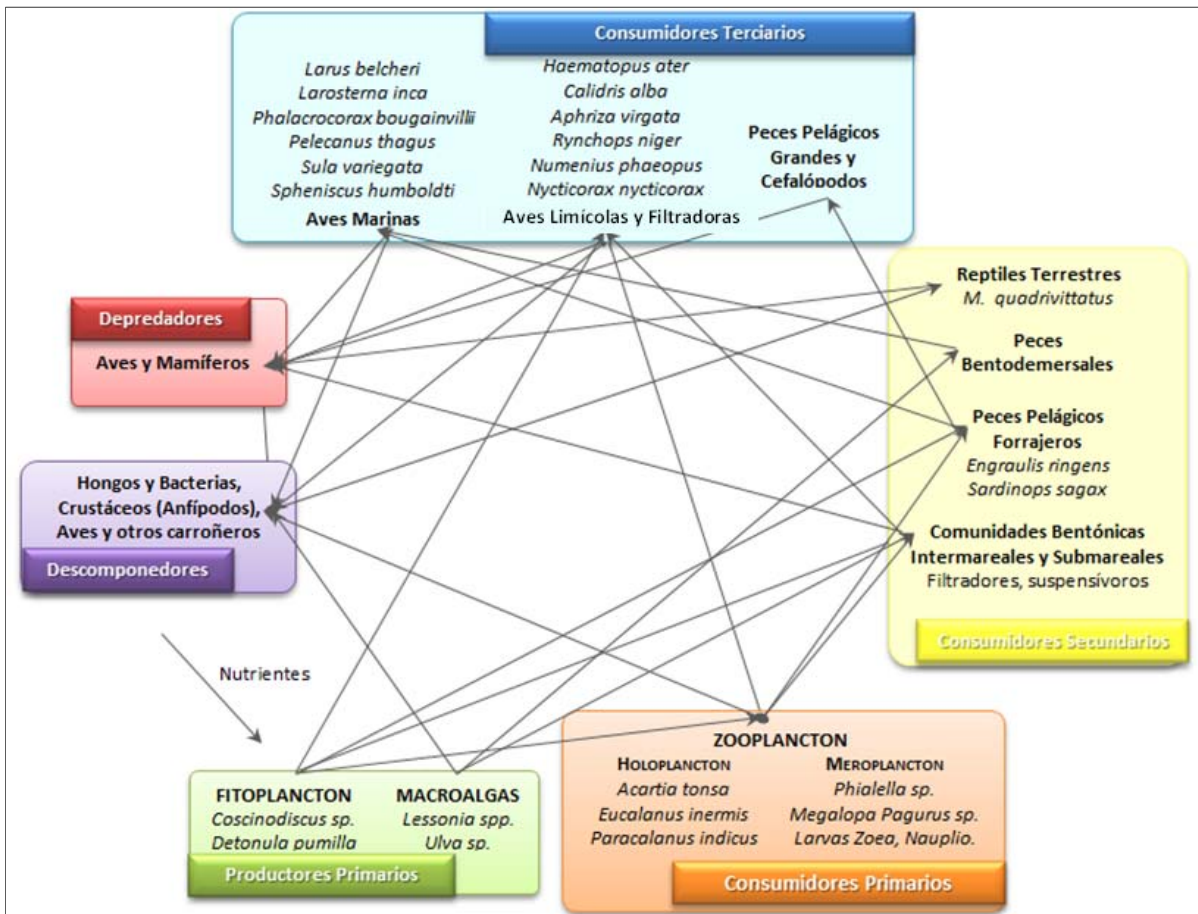
En el área de influencia del Proyecto, como es característico de las redes tróficas pelágicas en el Ecosistema de la Corriente de Humboldt, las vías tróficas son relativamente cortas. En general, además de zooplankton (compuesto principalmente por copépodos y eufáusidos) se pueden distinguir tres niveles tróficos de los consumidores: pequeños peces planctívoros, tales como la anchoveta (*Engraulis ringens*) y la sardina del Pacífico (*Sardinops sagax*), depredadores más grandes como el jurel (*Trachurus murphyi*), la merluza (*Merluccius gayi*) y los cefalópodos; y depredadores superiores (Thiel *et al.*, 2007), entre los que destacan el lobo marino (*Otaria flavescens*), la nutria marina (*Lontra felina*) y diversas aves marinas.

En esta trama trófica también es posible identificar conexiones entre el plancton y el bentos, siendo que tanto el sistema pelágico como el bentónico forman parte de las mismas relaciones tróficas. De este modo, el detritus y los restos orgánicos y de materia orgánica que se van

depositando desde las capas más superficiales (y más productivas) de la columna de agua pueden llegar hacia el fondo del mar y constituir el alimento de numerosos organismos bentónicos sésiles que se alimentan filtrando el agua continuamente y capturando las partículas alimenticias. Esta lluvia de restos orgánicos mezclados con partículas inorgánicas que se desplazan por la columna de agua, se va descomponiendo a medida que va sedimentando hacia el fondo, enriqueciéndose a su vez con microorganismos descomponedores que también pueden servir de alimento a los animales bentónicos que se alimentan con estas partículas.

Otro aspecto relevante en términos es la descomposición de macroalgas, las que cuando son varadas, son degradadas, casi en su totalidad por la actividad de los anfípodos, los que a su vez suelen ser uno de los principales ítems dietarios del reptil *M. quadrivittatus* (corredor de cuatro bandas), produciéndose un flujo de energía desde el mar hacia los ecosistemas terrestres, más aún cuando este reptil, es presa potencial de otros depredadores terrestres como el ave rapaz *Parabuteo unicinctus*, registrada también en el área evaluada. Los principales flujos de energía de la red trófica identificada en los ecosistemas marinos, son presentados en la Figura 3.6-28.

Figura 3.6-28. Redes Tróficas en los Ecosistemas Marinos



Fuente: MWH, 2016

3.6.4.4 Ecosistemas de alto valor ambiental

Se ha considerado como ecosistemas de alto valor ambiental terrestres, aquellos asociados a cuerpos de agua (humedales) y aquellos ecosistemas zonales que alberguen especies singulares y representativas de la región como son los *tillandsiales*. En el área de influencia la vegetación azonal se distribuye en forma discontinua, en sectores localizados principalmente en las quebradas con afloramientos de agua ya sean permanentes o temporales, en lomas arenosas en pendiente influenciadas por la “camanchaca”.

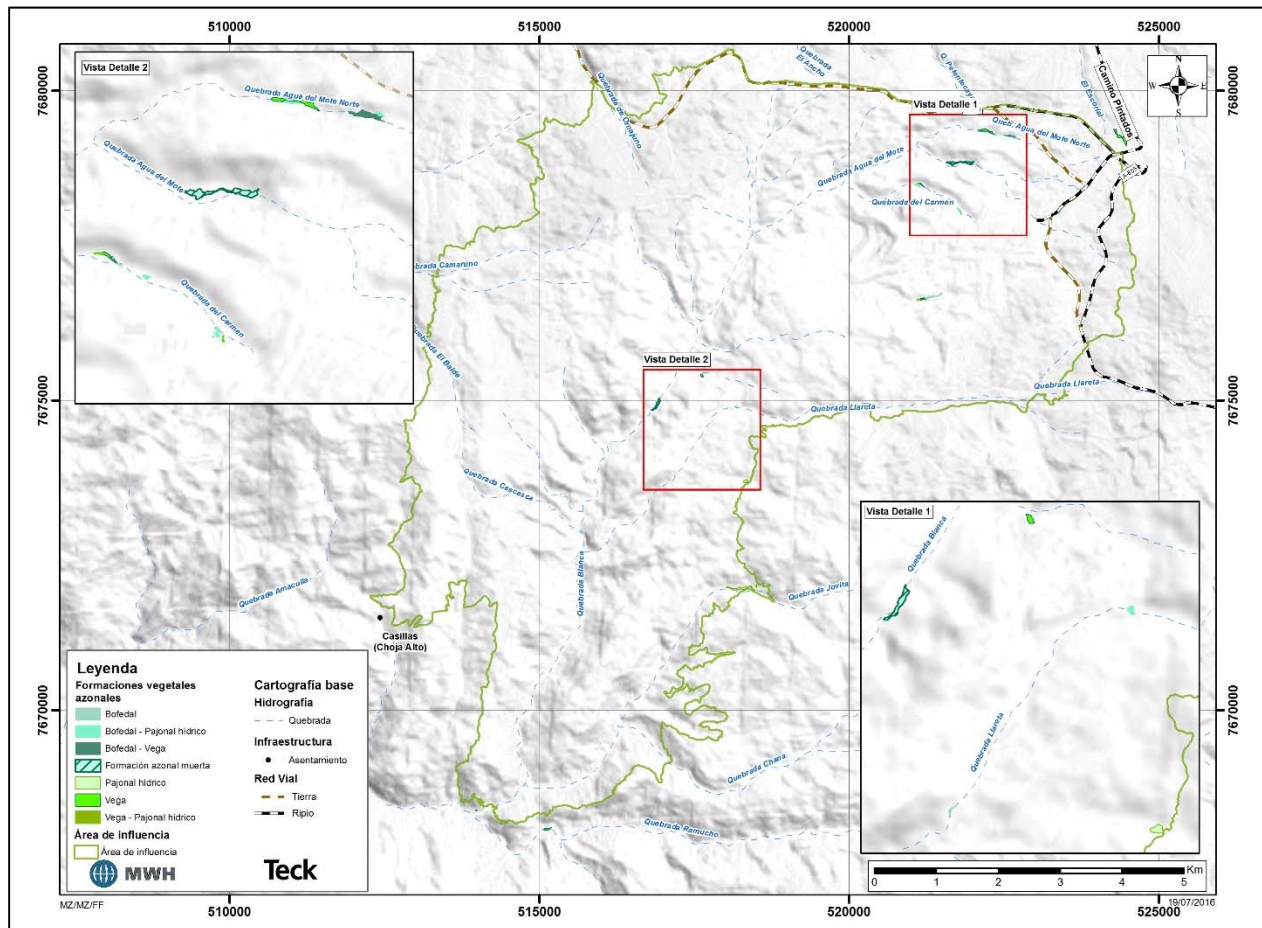
Respecto a los ecosistemas marinos, preliminarmente se ha considerado a la franja intermareal rocosa como un ecosistema de alto valor ambiental, ya que alberga una gran diversidad de especies de distintos niveles tróficos, así como especies bioingenieras y especies clave. En adición a ello, brindan servicios ecosistémicos, como la conformación de bancos naturales de recursos hidrobiológicos.

3.6.4.4.1 Quebradas

Las quebradas albergan vegetación de tipo azonal representan ambientes que sirven de fuente hídrica, refugio y/o corredor biológico para la fauna, así como también proporcionan un centro de encuentro para las distintas clases de fauna. Por otro lado, aportan servicios ecosistémicos a las comunidades adyacentes. La vegetación azonal está representada por formaciones de tipo: Bofedal de *Oxychloë andina*, Pajonal Hídrico de *Festuca deserticola* y *Deyeuxia curvula*, Vega de *Deyeuxia curvula* y *Carex marítima*, Matorral hídrico - Pajonal hídrico de *Parastrephia lucida*, *Festuca deserticola* y *Deyeuxia curvula* y Matorral Hídrico de *Parastrephia lucida*. Además, en algunas quebradas se observa la presencia de individuos de la especie *Azorella compacta*, catalogada como Vulnerable según D.S. N°51/2008, MINSEGPRES e individuos aislados de *Maihueniopsis boliviana* (puskayo), catalogada como de Preocupación Menor según Reglamento de Clasificación de Especies (D.S. N°19/2013 MMA).

Como se mencionó anteriormente, esta área representa hábitats para especies de fauna representativa y singular de los ecosistemas altoandinos. En los mamíferos se caracterizó a *Vicugna* (Vicuña) y *Pseudalopex culpaeux* (Zorro culpeo) catalogadas como En Peligro (D.S. N°5/1998 MINAGRI) y de Preocupación menor (D.S. 33/2011 MMA), respectivamente. *Lagidium peruanum* (Vizcacha peruana), catalogada como En Peligro, *Phyllotis xanthopygus* (Ratón orejudo amarillento), catalogada como Sin Prioridad Inmediata según Cofré & Marquet 1999. Entre los reptiles, *Liolaemus jamesi* (Jararanco de James), especie catalogada como rara según el D.S. N°5/1998 MINAGRI, es uno de los más abundantes dentro de la fauna de baja movilidad.

Figura 3.6-29. Distribución de los ecosistemas azonales en sectores Cordon Occidental y Mina Planta del Área de Influencia

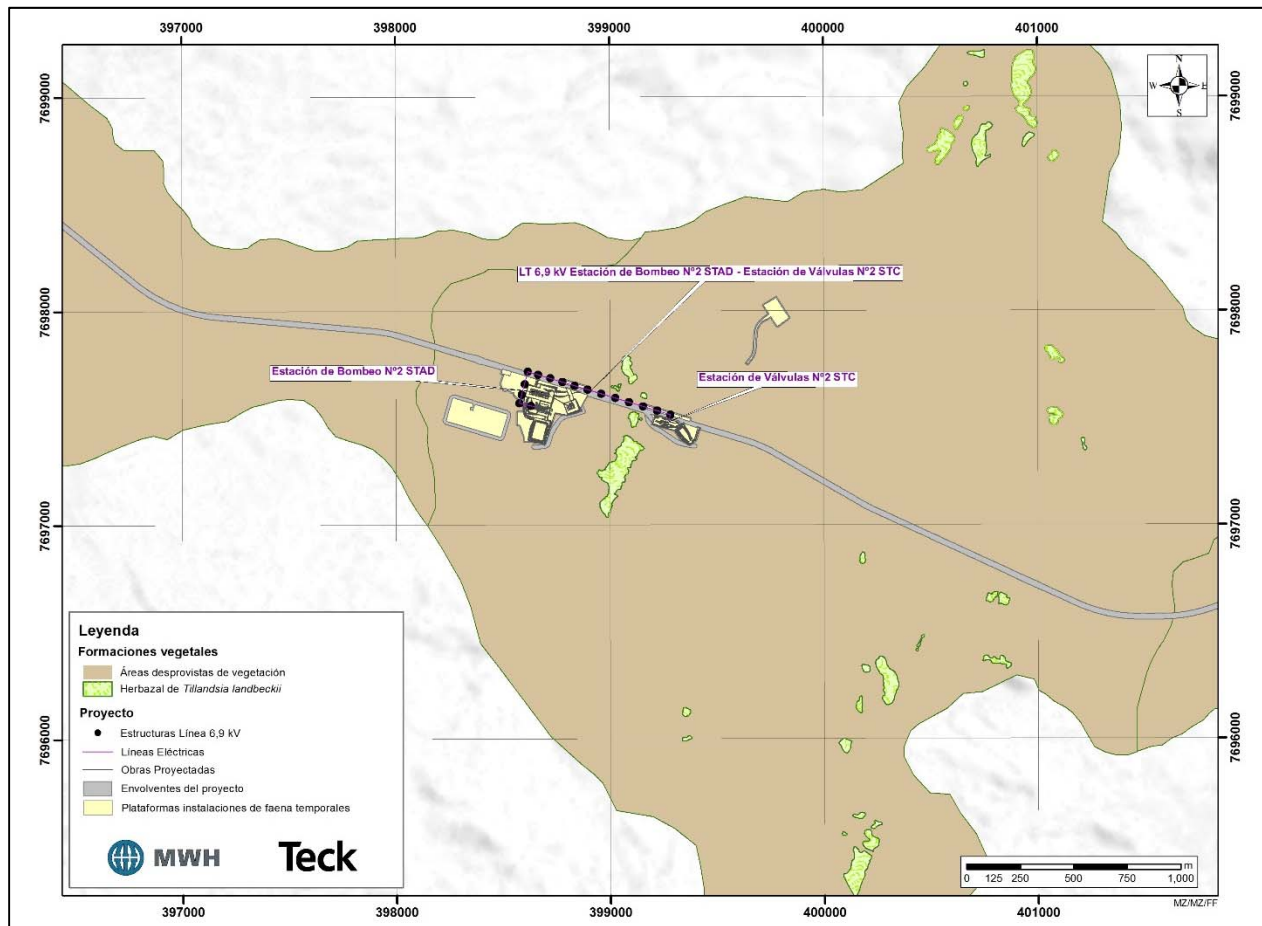


Fuente: MWH, 2016

3.6.4.4.2 Tillandsiales

Este tipo de ecosistemas que se distribuyen cubriendo lomas arenosas en pendiente, de amplias extensiones, donde se distingue las poblaciones de la especie *Tillandsia landbeckii*, formación vegetal con un estrato herbáceo dominado exclusivamente por esta hierba perenne constituyendo una formación vegetal monoespecífica. Está clasificada como Vulnerable en los anexos del Libro Rojo de la Flora Terrestre (Benoit *et al.*, 1989). Su distribución se sitúa entre 930 y 1.050 metros de altitud. Esta especie, presenta adaptaciones particulares al clima árido y una dependencia por la humedad de neblina (camanchaca), situación que sugiere que estas comunidades pueden servir como indicadores sensibles a cambios climáticos (Cabrera y Willink, 1973; Rundel *et al.*, 1997).

Figura 3.6-30. Distribución de los Tillandsiales en el Área de Influencia

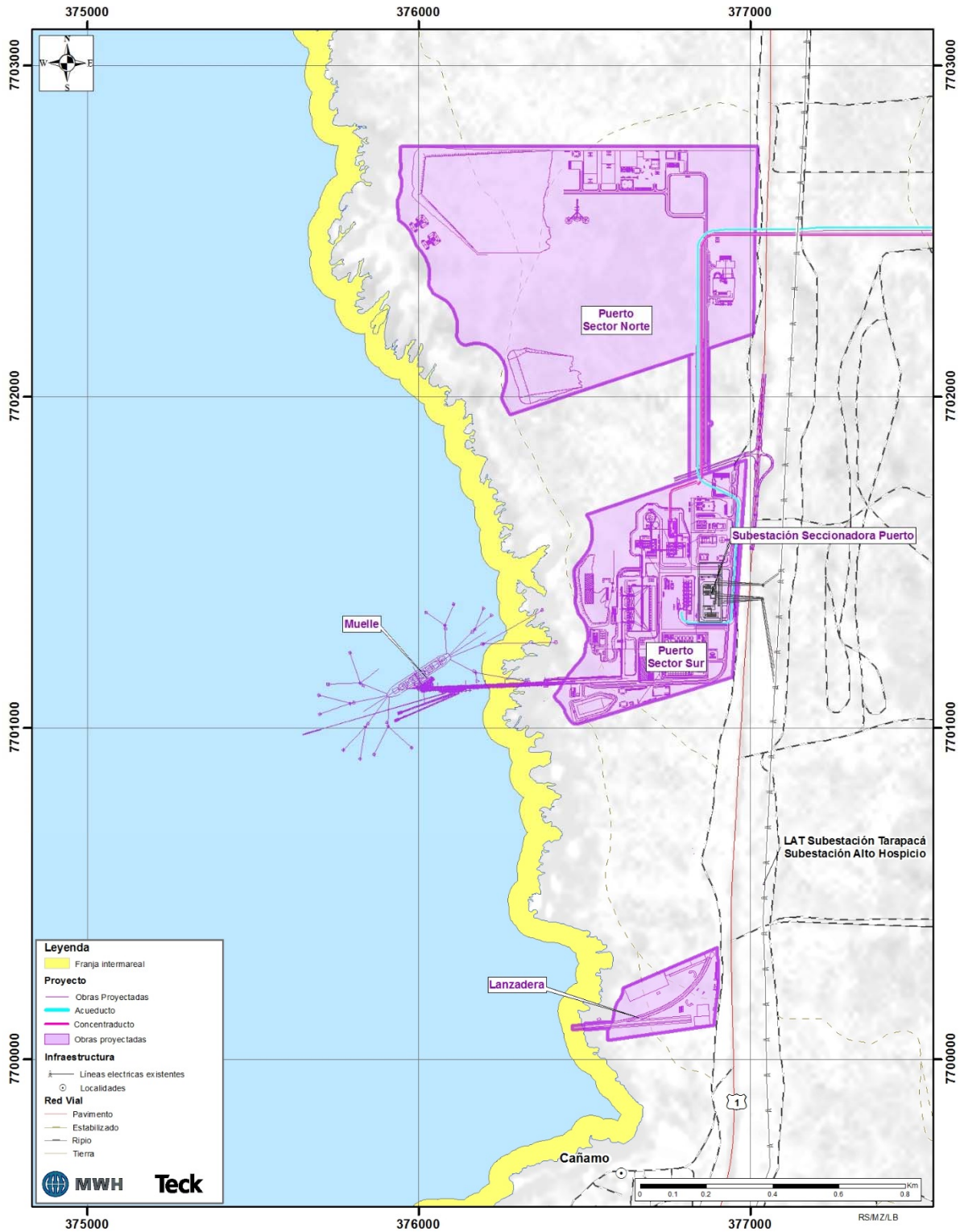


Fuente: MWH, 2016

3.6.4.4.3 Franja intermareal

Este tipo de ecosistema constituye un ecotono, el cual es una transición entre los ecosistemas marino y terrestre, cuya relevancia radica en que alberga una importante diversidad biológica, como la presencia de aves nativas, endémicas y migratorias; así como la de mamíferos (*Lontra felina*) y reptiles (*M. quadrivittatus*), además de permitir el flujo de materia y energía entre ambos tipos de ecosistemas, al generar una importante oferta de ítems alimentarios para especies de diferentes grupos taxonómicos, especialmente por los cambios producidos por las fluctuaciones en el nivel de las mareas. Otro aspecto relevante es el relacionado a la presencia diversas especies hidrobiológicas que son sometidas a actividades extractivas por parte de las comunidades de pescadores de la zona, entre las que destacan *Concholepas concholepas*, *Fissurella crassa*, *Fissurella máxima*, *Austromegabalanus psittacus*, *Athyonidium chilensis*, *Loxechinus albus* y *Pyura chilensis*, quienes a través de esta actividad modulan también la estructura comunitaria en este ecosistema.

Figura 3.6-31. Detalle de Franja intermareal en el Área de Influencia



Fuente: MWH, 2016

3.6.5 Síntesis y Conclusiones

Los ecosistemas están conformados por los organismos vivos y el medio físico en el que estos habitan, siendo la forma en que ambos componentes se relacionan determinante en la estructura y funcionamiento de este tipo de sistemas. Entre los factores ecológicos que modelan los ecosistemas, existen algunos que se denominan como limitantes o forzantes pues son aquellos que afectan o regulan el funcionamiento global del ecosistema. Por lo cual, su identificación resulta clave si se quiere determinar e identificar medidas de manejo o control más específicas (CEA – SAG, 2006).

3.6.5.1 Ecosistemas terrestres

3.6.5.1.1 Contextualización regional

El área de influencia del proyecto se desarrolla cercano al límite sur de la región de Tarapacá, zona norte de Chile. Los ecosistemas terrestres del norte de Chile corresponden a ecosistemas desérticos y forman parte de una unidad geomorfológica árida mayor, comprendida entre Perú y el norte de Chile, cuya existencia es el resultado de su posición latitudinal, la corriente marina fría de Humboldt y el efecto de sombra de lluvias que ejerce la Cordillera de los Andes (Arroyo *et al.*, 1988; Marquet *et al.*, 1998). Las condiciones climáticas a nivel regional varían principalmente según la altura, sin embargo están marcadas por la aridez, bajas precipitaciones, bajos niveles de humedad relativa y un alto nivel de radiación solar con excepción de las ubicadas en la costa.

En la región donde se emplaza el proyecto, la disponibilidad y obtención del recurso hídrico corresponde a un factor limitante del desarrollo de la vegetación, encontrándose formaciones con patrones de distribución zonal y azonal en función de dicho recurso. Las formaciones con patrón de distribución zonal (formaciones herbáceas y arbustivas), están determinadas por agentes forzantes generales o modeladores del paisaje, que presentan un continuo espacial, como el nivel de precipitaciones estivales, pendiente, exposición y altitud, principalmente (Luebert & Plissock, 2006). Por otro lado, la presencia de vegetación azonal, asociada a suministros hídricos permanentes en el altiplano (humedales altiplánicos), está determinada por condiciones ambientales locales, que se manifiestan a menores escalas espaciales, como por ejemplo las características particulares del suelo o condiciones permanentes de humedad.

3.6.5.1.2 Caracterización del área de influencia y patrones de distribución

El área de influencia para los ecosistemas terrestres se divide en ocho sectores los que en conjunto comprenden una superficie total de 49.832,5 hectáreas, las cuales se detallan de la siguiente forma:

- *Desierto Costero (DC)*: comprende todo el territorio correspondiente a la Cordillera de la Costa y área litoral. En términos de altitud, abarca desde el nivel del mar hasta los 950 m, con una altitud máxima de 1.100 m registrada en la Cordillera de la Costa.

- *Desierto Interior (DI)*: sector que abarca la Pampa del Tamarugal hasta el piedemonte de la Cordillera de los Andes. En términos de altitud, se encuentra entre los 950 y los 2.400 m.s.n.m.
- *Cordón Occidental (CO)*: cordón de cerros de la Cordillera de Los Andes, que va subiendo desde el piedemonte cordillerano hasta encontrarse con el sector Altiplano Mina – Planta (3.300 m.s.n.m).
- *Quebrada Choja - Ramucho (CR)*: tramo de las Quebrada Choja y Ramucho que se encuentra en la parte baja de la cuenca de la Quebrada Blanca. Esta última toma el nombre de “Choja” cuando confluye con la quebrada Ramucho. En términos de altitud, el sector se distribuye entre la los 3.000 y los 3.700 m.s.n.m.
- *Quebradas Huinquentipa - Ornajuno (HO)*: valles que pertenecen a la cuenca de la Quebrada de Guatacondo. El área abarca desde los 3.500 a los 4.400 m.s.n.m. de altitud.
- *Altiplano Mina - Planta (MN)*: sector que rodea al área industrial del proyecto y que abarca las serranías y afluentes de la cuenca de la Quebrada Blanca. Geográficamente se inserta entre el Altiplano y los valles cordilleranos occidentales. Se localiza entre los 3.500 y los 4.600 m.s.n.m. de altitud.
- *Altiplano Cerro Quitala (CQ)*: cumbre que se encuentra al poniente del camino a Pintados, en el Km 90, aproximadamente. Forma parte de una serranía divisoria entre el área de cordillera más abrupta y las planicies del este. Abarca un rango altitudinal estrecho, entre los 4.150 y los 4.500 m.s.n.m.
- *Altiplano Variante A-97B (VA)*: lomajes y cerros al norte del área industrial, que va desde el camino a Pintados hasta el salar de Coposa. Corresponde a un área inserta en el Altiplano, entre los 4.350 y 4.600 m.s.n.m. de altitud.

A partir de los análisis de similitud realizados (MDS) de acuerdo al gradiente altitudinal de la composición y abundancia de flora, los resultados asocian dos grandes grupos. Por un lado se encuentran los puntos de muestreo asociado al cordón occidental zonal y en otro grupo está los sectores de Desierto Costero, Desierto Interior zonal, Desierto Interior sin vegetación y Cordón Occidental sin vegetación. Este último grupo al ser analizado, presenta una clara diferenciación entre el Desierto Costero azonal (Tillandsiales), del resto de los puntos de muestreo asociados principalmente a sectores sin vegetación.

Al analizar de acuerdo al tipo de recubrimiento para el sector Mina – Planta, se confirman los resultados esperables, con una diferenciación significativa entre ambos tipos de recubrimientos (zonal – azonal). Al replicar este análisis para los sectores de quebradas, se mantiene la diferenciación de flora asociada a formaciones zonales y azonales. Sin embargo, en cada tipo de recubrimiento de suelo existe una sub-agrupación según la quebrada originaria. Es decir, en el mismo tipo de recubrimiento azonal, existe una diferenciación entre la quebrada Huinquentipa – Ornajuno por un lado y la quebrada Choja – Ramucho por otro.

A partir del análisis de los resultados obtenidos fue posible identificar como ecosistemas de alto valor ambiental, aquellos denominados como humedales y que están asociados a la vegetación

de tipo azonal. Este tipo de ecosistema posee alto valor pues alberga una alta biodiversidad, poseen nula o baja intervención antrópica, proveen servicios ecosistémicos locales relevantes para la población, o presentan características de unicidad, escasez o representatividad.

3.6.5.1.3 Principales factores modeladores de ecosistemas terrestres

En el Análisis de Correspondencia Canónica realizado en el total del área de influencia muestran al sustrato de arena y pH como los factores abióticos que mejor explica la distribución de los puntos de muestreo asociados a los sectores de Desierto Costero y Desierto Interior y parte de cordones occidentales (sobre el 70% del área de influencia). Para el eje secundario corresponde a fósforo y la conductividad eléctrica, ambos factores abióticos están estrechamente relacionados ya que en los faldeos de la cordillera occidental todas las áreas son de origen volcánico generalmente ricos en fosforo y potasio y posiblemente también en nitrógeno y con alto porcentaje de cal, pero pobres en materia orgánica.

Al realizar este análisis en la zona del altiplano se repite un patrón similar al análisis anterior, el tipo de sustrato (arcilla) y el pH juega un rol fundamental en la distribución principalmente de las formaciones zonales. En el eje secundario está fuertemente influenciado por la humedad disponible y materia orgánica que afectan la diferenciación de los escasos puntos de muestreo de formaciones azonales característicos de este tipo de ecosistemas.

3.6.5.1.4 Relaciones tróficas entre las comunidades biológicas terrestres

Para los ecosistemas terrestres presentes en el área de influencia, se han esquematizado las relaciones tróficas, señalando los principales grupos funcionales: productores primarios, consumidores primarios, consumidores secundarios, consumidores terciarios y carroñeros. En términos de relaciones tróficas de han identificado tres tipos o sub-ecosistemas: costeros, pampa y de la Puna. Los ecosistemas costeros se desarrollan entre los 0 y 900 metros de altura, es influenciado por una serie de factores abióticos caracterizados por ser un ecosistema de transición entre el ecosistema marino y pampa, por lo mismo son corredores de flora y fauna (Forman y Godron, 1986) y presentan un alto grado de especies nativas (89,7%). El ecosistema de pampa se emplaza desde los mil metros a 3.500 m.s.n.m. aproximadamente e incluye principalmente el sector de Desierto Interior y en menor medida a Cordones Occidentales. Finalmente, el ecosistema de la Puna (o estepa arbustiva pre-altiplánica), se desarrolla por sobre los 3.500 metros de altura y en condiciones extremas que determinan la presencia de especies de fauna que presentan características fisiológicas que les permite enfrentar ambientes rigurosos, principalmente en relación a la disponibilidad de agua, cantidad y calidad de recursos y temperaturas extremas (Marquet et al 1998).

3.6.5.2 Ecosistemas acuáticos continentales

3.6.5.2.1 Contextualización regional

Los ecosistemas acuáticos continentales incluidos en el área de influencia del Proyecto son sistemas controlados principalmente por factores abióticos como la radiación solar, presencia de precipitaciones estivales y la topografía local, la que determina la permeabilidad del suelo y la ocurrencia de afloramientos de agua (aporte de agua subterránea). A nivel más local, las características del agua y del sustrato, juegan un rol importantísimo en la modelación de este tipo de ecosistemas.

3.6.5.2.2 Caracterización del área de influencia y patrones de distribución

El área de influencia de los Ecosistemas acuáticos continentales asociados al Proyecto, incluye varias quebradas de carácter endorreico, en las que el agua observada corresponde a afloramientos subterráneos puntuales que ocurren en los estrechamientos de los valles por tramos espaciales limitados antes de volver a infiltrarse. Estas condiciones originan sistemas particulares denominados humedales andinos, en los que se desarrollan sistemas vegetales conocidos como vegas y bofedales.

Se exploró la presencia de posibles patrones de distribución asociados a las características de composición y abundancia de las comunidades biológicas, para lo cual se consideró la información obtenida para el fitoplancton y fitobentos, por ser estas comunidades altamente sensibles a las variaciones en la calidad del agua. Para el fitoplancton, los resultados obtenidos no permitieron reconocer un patrón de distribución entre las distintas quebradas evaluadas, distribuyéndose éstas de manera heterogénea respecto de la composición y abundancia de estas comunidades. Sólo se pudo observar cierta disimilitud entre algunos puntos de muestreo correspondientes a las quebradas Agua del Mote, Ciénaga Grande y Blanca, y el resto de los puntos y quebradas evaluadas.

Por otra parte, el análisis de ordenamiento según similitud (MDS) realizado para las comunidades del fitobentos, no permitió identificar agrupaciones claras entre los puntos de muestreo (o quebradas) evaluados, indicando una distribución heterogénea de las comunidades fitobentónicas presentes en el área de influencia del Proyecto.

3.6.5.2.3 Principales factores modeladores de ecosistemas acuáticos continentales

Como parte del presente capítulo, se realizó un análisis exploratorio de datos, en el que mediante un Análisis de Componentes Principales (PCA), se quiso examinar la relevancia de ciertas variables de calidad del agua como modeladores de los ecosistemas acuáticos continentales del área de influencia. Se consideraron las variables de calidad de agua: pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, alcalinidad, oxígeno disuelto, fósforo total, nitrógeno total y clorofila a. Los resultados obtenidos determinaron que las variables que mejor justifican la distribución de

los datos corresponden a pH, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica y alcalinidad (explicando un 39,2% de la varianza).

3.6.5.2.4 Relaciones tróficas entre las comunidades biológicas acuáticas continentales

Finalmente, se presenta una trama trófica simplificada de los ecosistemas acuáticos continentales, en la que se detalla algunos de los representantes de mayor distribución y abundancia en el área de influencia del Proyecto.

3.6.5.3 Ecosistemas marinos

3.6.5.3.1 Contextualización regional

La variabilidad del ambiente marino en el Pacífico suroriental, en el cual se encuentra inserta el área de influencia del componente biológico marino del Proyecto, está determinada principalmente por la acción combinada de: a) fluctuaciones ligadas al proceso de surgencia costera (desde sinópticas a intraestacionales), b) variabilidad interanual asociada a la alternancia de eventos El Niño y La Niña, incluyendo ondas de Kelvin ecuatoriales, ondas atrapadas a la costa y ondas de Rossby, y c) fluctuaciones interdecadales. Todos estos factores de variabilidad ambiental se presentan en la naturaleza en diferentes escalas (tanto espacial como temporal), y poseen diferente magnitud, y sus consecuencias son potencialmente observables en el área de influencia marina del Proyecto.

3.6.5.3.2 Caracterización del área de influencia y patrones de distribución

El área de influencia marina establecida para el Proyecto, se extiende desde Chanavayita por el norte, y por el sur hasta el límite norte de Playa Chauca. Dicha área marina se ubica al sur de Iquique, en la Región de Tarapacá, y forma parte del Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH), uno de los cuatro principales sistemas de surgencias o afloramientos costeros inducidos por el viento, y en consecuencia, de mayor productividad a nivel mundial.

Los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del Proyecto, están conformados diferentes grupos de organismos vivos, los que según el subsistema que habitan, pueden ser pelágicos, si se desarrollan en la columna de agua, o bentónicos, si su hábitat está relacionado con el fondo o lecho marino, ocupando para cada caso, distintos niveles tróficos.

A partir de los análisis se pudo observar una marcada diferencia entre los estratos de superficie y fondo del subsistema pelágico durante la temporada de verano, mientras que en la campaña de invierno no se observó una diferenciación en el ordenamiento de las estaciones por estrato, respecto al análisis realizado para los parámetros físicos y químicos del agua y su influencia sobre las comunidades planctónicas (fitoplancton y zooplancton). Lo anterior puede ser atribuible a que los cambios de las condiciones meteorológicas suscitados como consecuencia de la estacionalidad (incremento de la velocidad del viento, temperatura, presión atmosférica, etc.), originan a su vez, cambios en los patrones oceanográficos (corrientes marinas, turbulencia, etc.),

determinando que las condiciones sean más homogéneas en la columna de agua durante el invierno.

Por otra parte, en cuanto al subsistema bentónico, las variables que mejor se relacionaron con los parámetros bióticos (riqueza, abundancia y diversidad de especies) fueron las obtenidas a partir de la calidad del sedimento, así como el pH, la salinidad y la temperatura del agua en los niveles profundos próximos al lecho marino.

3.6.5.3.3 Principales factores modeladores de ecosistemas marinos

El análisis exploratorio de la información biológica y ambiental disponible, proveniente de los ecosistemas marinos ha permitido describir en parte las relaciones existentes entre estos dos componentes ecosistémicos; sin embargo, se destaca que el análisis realizado es una aproximación, dado que la información empleada es puntual; en tanto que lo que acontece en la naturaleza es la ocurrencia de diversos procesos, muchas veces de diferente escala y frecuencia, que pueden manifestarse de manera estocástica, ejerciendo su influencia sobre los componentes biológicos y moldeando sus atributos comunitarios y/o poblacionales, no siendo posible atribuir dicho comportamiento a un patrón o a una relación tipo causa efecto.

Lo señalado anteriormente, es consistente con los resultados encontrados sobre la caracterización de las relaciones de las variables biológicas evaluadas para las comunidades marinas, donde salvo algunos casos que sí son definidos por la estacionalidad, no se identificaron fuertes dependencias entre las variables, sino que se observó más bien un comportamiento de carácter heterogéneo, el cual precisamente podría estar asociado a las diversas fuentes de variabilidad ambiental que caracterizan los ecosistemas marinos de la región.

En base a la información científica consultada, se puede afirmar que existen evidencias de la influencia que el ecosistema marino ejerce sobre los otros ecosistemas (terrestres y acuáticos), al estar implicado en procesos de diferente escala, especialmente los relacionados al acoplamiento océano-atmósfera, el cual tiene consecuencias tanto a gran escala (cambios de régimen, ENOS, ciclo del agua, etc.), como a escala más local (nubosidad, precipitaciones, régimen hídrico, etc.), los cuales generan una variabilidad ambiental sobre la biota que habita dichos ecosistemas.

3.6.5.3.4 Relaciones tróficas entre las comunidades biológicas marinas

El afloramiento o surgimiento de aguas frías (cerca de 16°C en la superficie) en la zona costera favorece el desarrollo del plancton vegetal y animal que nutre una red trófica de que involucra numerosas especies marinas e incluso costeras, al transportar elementos nutritivos hacia las capas más superficiales. En el sistema pelágico, se pueden distinguir al fitoplancton como productor primario, así como tres niveles tróficos de consumidores: los pequeños peces planctívoros o forrajeros, peces depredadores más grandes, y los depredadores superiores.

Adicionalmente, es posible identificar conexiones entre el sistema pelágico y el bentónico, toda vez una gran parte de los organismos bentónicos se alimentan del plancton presente en la columna de agua (suspensívoros), así como de los restos orgánicos y materia orgánica que se deposita desde las capas más superficiales del sistema pelágico (detritívoros).

Finalmente se identificó un flujo de materia y energía en franja intermareal, que es principalmente aprovechado por la especie *Microlophus quadrivittatus*, el cual, de acuerdo a la bibliografía consultada, se alimenta principalmente de eufáusidos asociados a la descomposición de macroalgas varadas, principalmente por efecto del oleaje. Este flujo es importante, toda vez que *M. quadrivittatus* constituye un ítem dietario dentro del espectro alimenticio de depredadores terrestres, principalmente aves rapaces, lo cual se traduce en un flujo de materia y energía entre los ecosistemas marino y terrestre.

3.6.6 Bibliografía

Aceituno, P. (1988). On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector, I, Surface climate. *Mon. Weather Rev.*, 116: 505-525.

Aceituno, P. (1997). Aspectos generales del clima en el Altiplano sudamericano. En: *Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos: El Altiplano, ciencia y conciencia en los Andes*, pp. 63-70. Universidad de Chile.

Calvo, A., Pozo, M., Torres, V., Rojas, M., Lillo, A. (2000). Protección de humedales (vegas y bofedales) en el norte de Chile. Disponible en: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/7136> (fecha de consulta: 15-02-2016).

Arcos, M.P. & Gómez, A.C. (2006). Microalgas perifíticas como indicadores del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. *Acta Nova*, 4 (6): 60-79.

Arroyo, M.T.K., F.A. Squeo, J.J. Armesto & C. Villagrán. (1988). Effects of aridity on plant diversity in the northern Chilean Andes: results of a natural experiment. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75: 55-78.

Bertrand, A.; Fréon, P.; Chaigneau, A.; Echevinc, V., Estrella, C.; Demarcq, H.; Gutiérrez, D. y Sueiro J. C. (2010). Impactos del Cambio Climático en las Dinámicas oceánicas, el funcionamiento de los ecosistemas y las pesqueras en el Perú: Proyección de escenarios e Impactos socio económicos. Institut de recherche pour le developement - IRD. Instituto del Mar del Perú - IMARPE.

Blanco JL, AC Thomas, ME Carr & PT Strub. (2001). Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off Northern Chile. *Journal of Geophysical Research Oceans* 106: 11451-11467.

Bonetto, A. A., Y. Zalocar de Domitrovic Y E. R. Vallejos. (1982). Contribución al conocimiento del fitoplancton del Paraná Medio. 1. *Ecosur*, 9 (18): 189-212

Börgel, R. (1983). Geomorfología. In: *Geografía de Chile*. Santiago, Instituto Geográfico Militar. 182 p. Vol. 11.)

Brink, K.H., Halpern, D., Huyer A. and Smith, R.L. (1983). The physical environment of the Peruvian upwelling system. *Progress in Oceanography*, 12: 285-305

Brown J., Valone T. y Curtin C., (1997). Reorganization of an arid ecosystem in response to recent climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94:9729-9733.

Canales, C., M.A. Barbieri, R. Bahamonde, B. Leiva, P. Arana, S. Palma & T. Melo. (2002). Evaluación directa de langostino colorado y langostino amarillo entre la II and VIII Regiones, año 2001. Informe final FIP 2001-06: 269 pp.

Cardoso, F., P. Villegas & C. Estrella. (2004). Observaciones sobre la biología de *Octopus mimus* (Cephalopoda: Octopoda) en la costa peruana. *Rev. Perú. Biol.*, 11: 45-50.

CEA (Centro de Ecología Aplicada) – SAG (Servicio Agrícola y Ganadero, CL). (2006). Conceptos y criterios para la evaluación ambiental de humedales. Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. Chile. 81 pp.

Centro de Ecología Aplicada - SAG. (2006). Conceptos y criterios para la evaluación ambiental de humedales. Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. Chile. 81 pp.

Charney J, Stone P. y Quirk W. (1975). Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science* 187:434-435.

Charrier, R. (1997). Ciencias de la tierra y recursos mineros y energéticos en el Altiplano chileno. En: *Actas del II Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos: El Altiplano, ciencia y conciencia en los Andes*, pp. 5-14. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Charrier, R., Farías, M., y MaksaeV, V. (2009). Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile norte y central e implicaciones para las regiones adyacentes de Bolivia y Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65 (1), 5–35.

Chávez, F. P.; Ryan, J.; Lluch-Cota, S. E. & Ñiquen C., M. (2003). From Anchovies to Sardines and Back: Multidecadal Change in the Pacific Ocean. *Science* 299, 217 (2003).

Cofré, H. y Marquet, P.A. (1999). Conservation status, rarity and geographic priorities for conservation of Chilean mammals: an assessment. *Biological Conservation*, 88, 53–68.

Cubillos, L., P. Ruiz, G. Claramunt, S. Gacitúa, S. Núñez, L. Castro, K. Riquelme, C. Alarcón, C. Oyarzún & A. Sepúlveda. (2007). Spawning, daily egg production, and spawning stock biomass estimation for common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central southern Chile in 2002. *Fish. Res.*, 86: 228-240.

Del Giocio, P. A., A. Vinocur, R. J. Lombar D.O. & G. Tell. (1991). Progressive changes in the structure and dynamics of the phytoplankton community along a pollution gradient in a lowland river - a multivariate approach. *Hydrobiologia*, 224: 129-154.

Evans R. and Belnap J., (1999). Long-term consequences of disturbance on nitrogen dynamics in an arid ecosystem. *Ecology* 80:150-160.

Faúndez L. y Gajardo M. (1993). Estudio de humedales: las vegas y bofedales de la I y II región. 16 p, Diagramas. In CASTRO M, BAHAMONDES M, SALAS H, AZOCAR P Y FAUNDEZ L. 1993. Identificación y ubicación de vegas y bofedales de las regiones Primera y Segunda. Informe Mecanografiado. Depto. Estudios S.I.T. N° 19, D.G.A.-MOP. 20 p. Anexos

Franco-Meléndez, M.T. (2012). Breeding behavior and sex ratio variation of *Pleuroncodes monodon* (Crustacea: Galatheidae) off the Peruvian coast. *Cienc. Mar.*, 38: 441-457.

García de Emiliani, M. O. (1980). Fitoplancton de una laguna del valle aluvial del Paraná Medio ("Los Matadores", Santa Fe, Argentina). I. Estructura y distribución en relación a factores ambientales. *Ecología*, 4: 127-140.

García de Emiliani, M. O. (1986). Fitoplancton de los principales cauces y tributarios del valle aluvial del río Paraná (tramo Goya-Diamante), IV: Análisis de componentes principales y factores comunes. *Rev. Asoc. Cienc. Nut. Litoral.*, 17 (1): 51-61.

García de Emiliani, M. O. (1990). Phytoplankton ecology of the Middle Paraná river. *Actu Limnol. Bras.*, 3: 391-417.

García de Emiliani, M. O. (1997). Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a river - floodplain lake system (Paraná river - Argentina). *Hydrobiologia*, 357: 1 - 15.

Garreaud, R.D. and Muñoz, R.C. (2005). The Low-Level Jet off the West Coast of Subtropical South America: Structure and Variability. *Monthly Weather Review*, 133: 2246-2261.

Gómez, F. (2007). Variabilidad ambiental y pequeños pelágicos de la zona norte y centro-sur de Chile. Tesis Magíster en Ciencias, mención Pesquerías. Universidad de Concepción, Concepción, 90 pp.

Gómez, F., A. Montecinos, S. Hormazábal, L.A. Cubillos, M. Correa-Ramírez & F.P. Chávez. (2012). Impact of spring upwelling variability off southern-central Chile on common sardine (*Strangomera bentincki*) recruitment. *Fish. Oceanogr.*, 21(6): 405-414.

Gunther, E.R. (1936). A report on oceanographical investigations in the Peru Coastal Current. University Press.

Gutiérrez, D., A. Bertrand, C. Wosnitza-Mendo, B. Dewitte, S. Purca, C. Peña, A. Chaigneau, J. Tam, M. Graco, V. Echevin, C. Grados, P. Fréon & R. Guevara-Carrasco. (2011). Sensibilidad del sistema de afloramiento costero del Perú al cambio climático e implicancias ecológicas. *RPGA*, 3: 1-26.

Gutiérrez, M., A. Ramírez, S. Bertrand, O. Moron & A. Bertrand. (2008). Ecological niches, patterns of distribution and areas of overlap of the squat lobster *munida* (*Pleuroncodes monodon*) and anchoveta (*Engraulis ringens*) off Peru. *Progr. Oceanogr.*, 79: 256-263.

Halpern, D. (2002). Offshore Ekman transport and Ekman pumping off Peru during the 1997-1998 El Niño. *Geophys. Res. Lett.*, 29(5): 1075, doi:10.1029/2001GL014097.

Harding, W.R., Archibald, C.G.M. & Taylor, J.C. (2005). The relevance of diatoms for water quality assessment in South Africa: A position paper. *Water SA*, 31(1): 41-46.

Iriarte, A. (2007). "Mamíferos de Chile". Barcelona: Lynx Edicions.

Jaksic FM (1997). Ecología de los vertebrados de Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile. 262 pp.

Kottek, M.; J. Greiser; C. Beck; B. Rudolf & F. Rubel. (2006). World map of the Koppen-Geiger climate classification updated. Meteorol. Z. 259-263.

Leuschner, C. (2005). "Vegetation and ecosystems". En: Vegetation ecology van der Maarel, E. (ed.). Blackwell Science Oxford, pp. 85-105.

López M, R Prieto, SJ Velarde, (2006). Construyendo el Futuro de Chalaco, Reporte del Taller de Escenarios, 20 y 21 de Mayo de 2005. Municipalidad Distrital de Chalaco, Colegio Secundario "San Fernando", Chalaco. ASB, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), World Agroforestry Centre y Millennium Ecosystem Assessment. Piura, Perú.

Luque, M. E. y A. L. Martínez De Fabricius. (2000). Ficoflora fitoplanctónica y epilítica del río Piedra Blanca (Córdoba, Argentina). Bol. Soc. Argent. Bot., 35 (1-2): 21-32.

Mantua, N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace & R.C. Francis. (1997). A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. B.A.M. Meteorol. Soc., 78: 1069-1079.

Marquet, P.A., F. Bozinovic, G.A. Bradshaw, C. Cornelius, H. González, J.L. Gutiérrez, E.R. Hajek, J.A. Lagos, F. López-Cortés, L. Núñez, E.F. Rosello, C. Santoro, H. Samaniego, V.G. Standen, J.C. Torres-Mura & F.M. Jaksic. (1998). Los ecosistemas del Desierto de Atacama y área andina adyacente en el norte de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 71: 593-617.

Masseret, E., Amblard, C. & Bourdier, G. (1998).- Changes in the structure and metabolic activities of periphytic communities in a stream receiving treated sewage from a waste stabilization pond. Water Research, 32 (8): 2299-2314.

Ministerio de Medio Ambiente. (2011). Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos.

Mirande, V., N. Romero, M.A. Barrionuevo, G.S. Meoni, B. Navarro, M.C. Apella & B. C. Tracanna. (1999). Human impact on some limnological characteristics of the Gastona river (Tucumán, Argentina). Acta Limnologica Brasiliensia, 11 (2): 101-110.

Montecinos, A. (1991). Efecto del fenómeno El Niño en los vientos favorables a la surgencia costera en la costa norte de Chile. Tesis de Oceanografía. Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 143 pp.

Morales, C., M. Braun, H. Reyes, J. Blanco & A. Davies. (1996). Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: the effect of low dissolved oxygen concentrations and of a cold-warm sequence (1990-95). Invest. Mar., Valparaíso, 24: 77-96.

- Moreno, C., G. Asencio, W.E. Duarte & V. Marín. (1998). Settlement of the muricid *Concholepas* (*Brugiere*) and its relationship with El Niño and coastal upwellings in southern Chile. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 167: 171-175.
- Morrone J. (2001). *Biogeografía de América Latina y el Caribe*. M&T—Manuales & Tesis SEA, vol. 3. Zaragoza, 148 pp.
- Muñoz A, Bonacic C. (2006). Variación estacional de la flora y vegetación en la precordillera andina de la comuna de Putre (I Región de Tarapacá, Chile) durante el período 2002-2003. *Gayana. Botánica* 63: 75-92.
- O'farrell, I. & I. Izaguirre. (1994). Phytoplankton ecology and limnology of the river Uruguay lower basin (Argentina). *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 99 (1-2): 155-179
- O'farrell, I. (1993). Phytoplankton ecology and limnology of the Salado river (Buenos Aires, Argentina). *Hydrobiologia*, 27 1: 169- 178.
- O'farrell, I. (1994). Comparative analysis of the phytoplankton of fifteen lowland fluvial systems of the river Plate basin (Argentina). *Hydrobiologia*, 129; 109-117
- Paine, R.T. (1995). «A Conversation on Refining the Concept of Keystone Species». *Conservation Biology* 9 (4): 962–964.
- Palma, S. (1994). Distribución y abundancia de larvas de langostino colorado *Pleuroncodes monodon* frente a la costa de Concepción, Chile. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 22: 13-29.
- Parada, C.; Yannicelli, B.; Hormazábal, S.; Vásquez, S.; Porobić, J.; Ernst, B.; Gatica, C.; Arteaga, M.; Montecinos, A.; Núñez, S. & Gretchina A. (2013). Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo pesquero. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 41(1): 1-28.
- Pliscoff P., F Luebert. (2006). Ecosistemas terrestres, en *Biodiversidad de Chile: Patrimonio y desafíos*, 74-87
- Quezada, J., J. Cerda, A. Jensen. (2010). Efectos de la tectónica y el clima en la configuración morfológica del relieve costero del norte de Chile. *Andean Geology* 37 (1): 78-109.
- Riascos, J., O. Heilmayer, M. Oliva, J. Laudien & W.E. Arntz. (2008). Infestation of the surf clam *Mesodesma donacium* by the spionid polychaete *Polydora biocippitalis*. *J. Sea Res.*, 59: 217-227.
- Rundel, P.W., M.O. Dillon, B. Palma, H.A. Mooney, S.L. Guilmon y J.R. Ehleringer (1991). The phytogeography and ecology of the coastal Atacama and Peruvian deserts. *ALISO* 13:1-49.
- Salinger, M., J. Renwick & A. Mullan. (2001). The interdecadal Pacific oscillation and South Pacific climate, *Int. J. Climatol.*, 21: 1705-1721.

Sarachik, E.S. & M.A. Cane. (2010). The El Niño-southern oscillation phenomenon. Cambridge University Press, Cambridge, 369 pp.

Smith, R. & Smith, T. (2001). Ecología. 4a edición. Madrid: Addison Wesley. 642p.

Strub, P., Mesias, J., Montecinos, V., Rutllant, J. and Salinas, S. (1998). Coastal ocean circulation off western South America. In: The Sea, Vol. 11 Robinson, A. and Brink, K. (Eds.), 273-313, John Wiley Sons, New York.

Tansley A., (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Journal Ecology*. 16: 284-307.

Thiel, M, *et al.* (2007). *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 2007, 45, 195-344 © R. N. Gibson, R. J. A. Atkinson, and J. D. M. Gordon, Editors Taylor & Francis.

Tracanna, B., C. T. Seeligmann, V. Mirande, L. B. De Parra, M. T. De Plaza Y E Molinari. (1999). Cambios espaciales y temporales del fitoplancton en el embalse Río Hondo (Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.*, 34 (1-2): 101-105.

Ulloa, O., R. Escribano, S. Hormazábal, R. Quiñones, R. González & M. Ramos. (2001). Evolution and biological effects of the 1997-98 El Niño in the upwelling ecosystem off northern Chile. *Geophys. Res. Lett.*, 28: 1591-1594.

Uribe, T., J. Olivares, J. Moraga, J. Illanes, J. Rutllant, D. Boré, J. Blanco, C. Jélvez & G. Ledermann. (1995). Determinación de la capacidad de carga de la Bahía Inglesa (III Región) y Tongoy (IV Región). Informe Final FIP-IT/ 93-28: 130 pp.

Valverde T., Z. Cano-Santana, J. Meave y J. Carabias. (2005). *Ecología y medio ambiente*. Edit. Addison Wesley Pearson. 230 pp.

Walter, H. (2002). *Vegetation of the Earth. The ecological systems of the Geo-Biosphere*. Cuarta edición traducida. Springer-Verlag, Berlín.

Wolff, M. (1987). Population dynamics of the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus* during the El Niño phenomena of 1983. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44: 1684-1691.

Woodward, F.I. (1987). *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press, Cambridge.

Wu, J.T. (1999). A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. *Hydrobiologia*, 397: 79-87.

Yáñez, E., S. Hormazábal, C. Silva, A. Montecinos, M.A. Barbieri, A. Valdenegro, A. Órdenes & F. Gómez. (2008). Coupling between the environment and the pelagic resources exploited off northern Chile: ecosystem indicators and a conceptual model. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 36(2): 159-181.

Yannicelli, B., L. Castro, C. Parada, W. Schneider, F. Colas & D. Donoso. (2012). Distribution of Pleuroncodes monodon larvae over the continental shelf of south central Chile: field and modelling evidence for partial local retention and transport. Prog. Oceanogr., 92-95: 206-227.

Zalocar de Domitrovic, Y. (1990). Efecto de las fluctuaciones del nivel hidrométrico sobre el fitoplancton en tres lagunas isleñas en el área de confluencia de los ríos Paraná y Paraguay. Ecosul; 16 (27): 13-29.

Zalocar de Domitrovic, Y. Y E. R. Vallejos. (1982). Fitoplancton del río Alto Paraná. Variación estacional y distribución en relación a factores ambientales. Ecosul; 9 (I 7): 1-28.