

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA**

**Facultad de Ciencias**

Escuela Profesional de Biología - Microbiología

“Evaluación del perifiton como indicador de calidad de  
agua en el embalse Cerro Blanco de la Empresa  
Prestadora de Servicios de Tacna”

**TESIS**

Presentada por:

Bach. Haydeé Blanca Alave Choque

Para optar el Título Profesional de:

**BIÓLOGO - MICROBIÓLOGO**

TACNA - PERÚ

2018

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°324

En la ciudad de Tacna en el auditorium de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann; siendo las 13:10 horas del día 27 de diciembre del 2018, estando presente el jurado calificador nominada por Resolución de Facultad N°9243-2018-FACI-UNJBG conformado por los siguientes docentes:

Dr. Daladier Miguel Castillo Cotrina	Presidente
M.S.c. Soledad Amparo Bornás Acosta	Miembro
M.S.c. Angela Verónica Choque Miranda	Secretaria

Acto seguido, se dio lectura a la Resolución correspondiente, y del mismo modo se dio lectura al Artículo 22 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias.

A continuación, el Presidente del Jurado instó a la Bachiller: HAYDEÉ BLANCA ALAVE CHOQUE, a exponer la tesis titulada: "Evaluación del perifiton como indicador de calidad de agua en el embalse Cerro Blanco de la Empresa Prestadora de Servicios de Tacna".

Siendo las 13:45 horas, la tesista concluye su exposición, luego se procedió a la formulación de las preguntas por parte de los miembros del jurado calificador. Terminado este proceso, se invitó a que los miembros del jurado emitan su calificación de acuerdo a reglamento. El promedio de la calificación dio el siguiente resultado: Aprobado por unanimidad, con el calificativo de Bueno (15), de acuerdo al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias.

Siendo las 14:10 horas, se dio por concluido el acto de sustentación de la tesis, firmando los señores miembros del jurado calificador, en señal de conformidad.



Dr. Daladier Castillo Cotrina

PRESIDENTE



M.Sc. Angela Choque Miranda

SECRETARIA



M.Sc. Soledad Bornás Acosta

MIEMBRO

## **DEDICATORIA**

La presente tesis se la dedico a mi familia que fue el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, gracias a su apoyo pude concluir mi carrera.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme llegar hasta hoy, a mis padres Teófilo Alave Quispe y Justina Choque Hualpa, porque gracias a ellos logré culminar mi carrera por ende el presente trabajo y gracias a ustedes; mis hermanas y sobrina Claudia, Stfany y Fernanda por su paciencia, amistad y compañerismo.

A mi asesor, Dr. Pablo Juan Franco León, jefe del Laboratorio de Botánica-UNJBG, por las observaciones y sugerencias que enriquecieron la investigación, además de su constante apoyo en el desarrollo y culminación de la presente tesis.

Gracias a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y a sus docentes por la formación de Bióloga Microbióloga.

A Blgo. Fernando e Ing. Alberto de la EPS, por el tiempo y apoyo brindado.

A mis amigos los que de alguna forma me dieron apoyo moral y espiritual para continuar.

A todos, muchas gracias.

## CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Enunciado del problema científico .....	3
1.2. Delimitación del problema.....	3
1.3. Justificación del problema.....	3
1.4. Hipótesis .....	6
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo general .....	6
1.5.2. Objetivos específicos .....	6
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Embalse – Captación Cerro Blanco.....	10
2.2.1. Embalses .....	10
2.2.2. Embalse Cerro Blanco .....	10
2.2.3. Sistema de captación de agua .....	15
2.3. Indicadores biológicos .....	16
2.4. Perifiton.....	19
2.5. Comunidades perifíticas .....	22
2.6. Características físico químicas del agua.....	31
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
3.1. Tipo de investigación .....	36
3.2. Área de estudio.....	36
3.3. Materiales .....	37
3.4. Metodología .....	38
3.4.1. Parámetros físico-químicos.....	38

3.4.2.	Metodología de laboratorio.....	39
3.5.	Índices de calidad de agua .....	41
3.5.1.	Índice de diversidad biológica de Shannon-Wiener (H').....	41
3.5.2.	Índice de Dominancia Simpson.....	42
3.5.3.	El índice de diversidad de Menhinick (DMn) .....	43
3.5.4.	Índice Biológico de Contaminación .....	43
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
4.1.	Análisis fisicoquímico del embalse Cerro Blanco.....	45
4.2.	Análisis del perifiton .....	55
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>79</b>
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>85</b>
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>86</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Promedio de los parámetros fisicoquímicos entre los meses de diciembre 2015 hasta el mes de abril 2016.....	45
<b>Tabla 2</b> Abundancia (N) (células /mL) y abundancia relativa (N%) de las comunidades perifíticas durante los cinco meses de muestreo.....	68
<b>Tabla 3</b> Especies más abundantes presentes durante los meses de muestreo .	71
<b>Tabla 4</b> Índices de diversidad por puntos de muestreo desde diciembre hasta abril .....	73
<b>Tabla 5</b> Índice Biológico de Contaminación BIP (Biological Index of pollution) ..	77
<b>Tabla 6</b> Correlación de las comunidades perifíticas con las variables fisicoquímicas con un nivel de $p \leq 0,05$ del embalse.....	78
<b>Tabla 7</b> Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad Organoléptica .....	103
<b>Tabla 8</b> Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos Inorgánicos ..	103
<b>Tabla 9</b> Análisis físico-químico del embalse Cerro Blanco durante los meses de diciembre 2015 hasta abril 2016.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Embalses de cerro blanco de la Empresa Prestadora de Servicios.....	11
<b>Figura 2</b> Mapa de ubicación del embalse Cerro Blanco, Calana Tacna. ....	37
<b>Figura 3</b> Fluctuación del pH en los cinco meses de muestreo, comparados con LMP .....	46
<b>Figura 4</b> Variación de la Temperatura durante los cinco meses de muestreo ...	47
<b>Figura 5</b> Fluctuación de la conductividad en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP .....	48
<b>Figura 6</b> Fluctuación de la turbidez en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP .....	49
<b>Figura 7</b> Fluctuación de Sólidos disueltos totales (TDS) pH en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP.....	50
<b>Figura 8</b> Fluctuación de Sulfatos en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP.....	51
<b>Figura 9</b> Fluctuación de Nitratos en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP. ....	52
<b>Figura 10</b> Fluctuación de fosfato en los cinco meses de muestreo.....	53
<b>Figura 11</b> Fluctuación de arsénico en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP. ....	54
<b>Figura 12</b> Abundancia Relativa durante los cinco meses de muestreo en el embalse Cerro Blanco .....	69

<b>Figura 13</b> Abundancia relativa (N%) de las comunidades perifíticas .....	70
<b>Figura 14</b> Taxas más abundantes durante los cinco meses de muestreo en el embalse Cerro Blanco. ....	72
<b>Figura 15</b> Comparación entre el total de Individuos con el total de Taxas durante los cinco meses de estudio. ....	75
<b>Figura 16</b> Índices de diversidad (Shannon, Menhinick y Margalef) durante los cinco meses de muestreo .....	76
<b>Figura 17</b> Embalses de Cerro Blanco EPS, Calana – Tacna.....	101
<b>Figura 18</b> Compuerta del embalse Cerro Blanco.....	101
<b>Figura 19</b> Embalse E-2 zona de muestreo. ....	102
<b>Figura 20</b> Embalse E-1 se encontró vacío por estar en mantenimiento.....	102
<b>Figura 21</b> Embalse Cerro Blanco perímetro y ubicación, EPS Tacna.....	104
<b>Figura 22</b> Plano general Piedras Blancas, ubicación embalses Cerro Blanco, EPS. ....	105

## RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en el embalse Cerro Blanco de Calana, ubicado en Tacna, se midieron las variables físico-químicas y se obtuvieron muestras de perifiton para evaluar la comunidad perifítica por un periodo de cinco meses en el laboratorio de Botánica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. El análisis de laboratorio se basó en métodos estándar e involucró la identificación y enumeración de organismos perifíticos. La comunidad perifítica del embalse Cerro Blanco estuvo compuesta por 128 especies que pertenecen a 16 clases, siendo la clase dominante Bacillariophyta el más abundante con un 63,6 %, seguido de Cyanophyta con 20,57 % y en último lugar Arthropoda (0,48 %). Se utilizó la correlación de Pearson ( $p < 0,05$ ) para averiguar los niveles de relaciones de significación entre las comunidades perifíticas con variables ambientales.

**Palabras Clave:** Perifiton, bioindicador, calidad de agua, Reservorio Cerro Blanco.

## **ABSTRACT**

Present work was carried out to assess in Cerro Blanco reservoir located in Tacna, physico-chemical variables were measured and periphyton was sampled to evaluate the periphytic community for a period of five months in the Botanical Laboratory of the Jorge Basadre Grohmann University. Laboratory analysis was based on standard methods and involved identification and enumeration of periphytic organisms. The periphytic community of the Cerro Blanco reservoir was composed of 128 species belonging to sixteen classes. The most dominant class was Bacillariophyta represented by 63,6 %, followed by, Cyanophyta with 20,57 %, Arthropoda 0,48 %. Pearson's correlation ( $p < 0.05$ ) was used to find out the levels of significance relations among the periphytic community with environmental variables.

**Keywords:** Periphyton, bio-indicators, water quality, Cerro Blanco reservoir.

## I. INTRODUCCIÓN

Los lagos y embalses ubicados en las áreas urbanas se enfrentan al embate de distintas actividades antrópicas, lo que genera su paulatino y constante deterioro (NAMIHIRA-S P. et al, 2002). La combinación de un rápido crecimiento poblacional, asociado a la industrialización y la urbanización ha provocado un paulatino aumento de las presiones sobre los recursos hídricos en distintos países. La urbanización de las cuencas provoca cambios en el uso del suelo, pasándose de áreas rurales a áreas residenciales o industriales, lo que conlleva un incremento de los vertidos urbanos, una acumulación de sustancias tóxicas y un aumento de la demanda de agua (Weaver & Garman, 1994).

Los ecosistemas acuáticos mantienen una gran diversidad de organismos, incluso mayor a los terrestres, por lo que los impactos como la contaminación inducen a cambios en la estructura de las comunidades, la función biológica de los sistemas acuáticos y al propio organismo, afectando su ciclo de vida, crecimiento y su condición reproductiva (Bartram y Ballance, 1996). Por este motivo, algunos organismos pueden proporcionar información de cambios físicos y químicos en el agua, ya que a lo largo del tiempo revelan modificaciones en la composición de la comunidad (Laws, 1981 in Vázquez, et al).

Las microalgas son fundamentales para mantener equilibrado el planeta, ya que influyen en gran parte en la dinámica del dióxido de carbono en los océanos y son indispensables para la vida en los sistemas acuáticos (Delgadillo & Góngora, 2008).

Es así como la presencia y abundancia de las microalgas perifíticas que viven adheridas a sustratos vegetales, rocas o a cualquier tipo de material natural o artificial sumergido (Roldan P., 1992), pueden ser utilizadas para evaluar el estado ecológico del medio en el que se encuentran, permitiendo inferir sobre los problemas que estén sucediendo (Andreu, 2002). Estas microalgas presentan, una alta heterogeneidad tanto espacial como temporal dependiendo de la variabilidad en los factores ambientales, red de drenaje, tipo de sustrato e hidrología, que determinan su comportamiento y distribución (Donato J. et al, 1996).

En consecuencia, el presente trabajo tiene por finalidad realizar un estudio sobre la evaluación de comunidades perifíticas como indicadores de calidad en el embalse Cerro Blanco, estimando la abundancia relativa por grupos taxonómicos y aportando información limnológica básica para este ambiente.

### **1.1. Enunciado del problema científico**

¿Qué comunidades perifíticas servirán como indicadores de la calidad del agua del embalse de Cerro Blanco de la Empresa Prestadora de Servicios?

### **1.2. Delimitación del problema**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el embalse Cerro Blanco de la Empresa Prestadora de Servicios, ubicada en el distrito de Calana, departamento de Tacna. El embalse Cerro Blanco se encuentra entre las coordenadas geográficas se ubican entre los paralelos 17°33 y 18°19 de latitud sur y los meridianos 69°43 y 70°33 de longitud Oeste, el trabajo de investigación consistió en determinar las comunidades de perifiton y su relación con la calidad de Agua entregada a la población para uso de consumo humano y agrícola de la Ciudad de Tacna, Perú.

### **1.3. Justificación del problema**

La calidad del agua es un tema sensitivo y de preocupación a nivel mundial. Procesos naturales como cambios en la precipitación, erosión, desgaste de materiales incrustantes, etc., además de la influencia antropogénica urbana, industrial, actividades agrícolas, incremento en el consumo de fuentes de agua degradan las aguas superficiales.

La calidad del agua está definida por una serie de características físicas, químicas y biológicas. En los conjuntos de datos de calidad de agua, las variables o grupos de variables se relacionan, y desde magnitudes diferentes presentan similitudes. Esto podría ser porque más de una se rige por el mismo principio, permitiendo evaluar el funcionamiento en un sistema acuático (Carrasco O., 2015).

De acuerdo con Branco (1986) citado en Silva-Oliveira (2007) las algas representan el grupo más importante desde el punto de vista hidrobiológico, ya que oxigenan el agua y contribuyen a la respiración de los organismos acuáticos, además de mejorar la calidad del agua a través de la oxidación de la materia orgánica (Montoya, 2013).

A diferencia de indicadores puntuales como la calidad química del agua o la carga de sólidos en suspensión, los indicadores biológicos presentan (generalmente) respuestas menos precisas, pero sostenidas en el tiempo, lo que permite identificar fenómenos de alteración incluso después de que estos hayan dejado de ejercer su influencia sobre otros factores, o en períodos intermedios entre incidencias periódicas (Rosenberg & Resh 1993, Environment Canada 2012).

El perifiton está conformado por un ensamble de especies que se ubica en la interface agua-sustrato, lo que permite que pueda aprovechar recursos de este ecotono. La distribución y porcentaje de cobertura del ensamblaje varía en cada sistema acuático, pero en el ecosistema presenta una importancia variada ya que: Se pueden emplear como bioindicadores de la calidad biológica del agua y de su estado trófico (Sládecková, 1962; Watanabe, 1990). Debido a su ciclo de vida corto y a su dinámica funcional alta, las algas responden rápidamente a las alteraciones ambientales y funcionan como sensores sensibles y confiables (Rodrigues et al., 2008).

El perifiton ha sido utilizado para verificar aspectos relacionados con la colonización, sucesión, diversidad y estabilidad de las comunidades, por lo que se puede emplear como un sistema modelo de estudio (Stevenson et al, 1996).

Las contribuciones que se esperan obtener con la realización de esta investigación son, por un lado, ampliar el conocimiento sobre la diversidad de comunidades perifíticas, así como la valoración del Índice Biológico de Contaminación y su uso en la calidad de agua.

#### **1.4. Hipótesis**

Las comunidades perifíticas presentes en el embalse Cerro Blanco, se comportan como bioindicadores de calidad del agua de dicho embalse perteneciente a la Empresa Prestadora de Servicios de Tacna.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

- Evaluar las comunidades perifíticas del embalse Cerro Blanco de la Empresa Prestadora de Servicios de Tacna.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Evaluar e interpretar los parámetros físico-químicos muestreados en el embalse Cerro Blanco Calana, Tacna.
- Identificar y cuantificar el Perifiton del embalse Cerro Blanco, Tacna.
- Clasificar taxonómicamente a las especies encontradas en el embalse Cerro Blanco, Tacna.
- Caracterizar el tipo de agua según el Índice Biológico de Contaminación (BIP) del embalse Cerro Blanco, Calana.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Uno de los trabajos pioneros fue el de Moreno (1989) quien estudió la colonización del perifiton sobre sustratos artificiales en tres embalses del oriente antioqueño, en los que predominaron las algas en el perifiton. Se encontraron 105 taxones, de los cuales 95 eran algas y los demás protozoos, rotíferos y algunas larvas de insectos en embalses de Colombia (Montoya, 2013).

Sierra y Ramírez (2000) realizaron la caracterización del ficoperifiton que coloniza sustratos artificiales en el embalse de La Fe-Antioquia, los cuales fueron dispuestos verticalmente, durante dos meses a cuatro profundidades en dos épocas hidrológicas contrastantes (lluvia y sequía). Se encontró baja biomasa algal perifítica debido al bombeo de agua al embalse, lo que generó pérdidas por desprendimiento mecánico y fricción, por lo que el ensamblaje perifítico se mantuvo siempre en la fase inicial de colonización por bacterias.

Montoya y Ramirez (2007), realizaron un estudio en el río Medellín, evaluando la variación estructural de la comunidad

perifítica colonizadora de sustratos artificiales, durante el proceso de colonización se encontraron 76 especies pertenecientes a 22 familias, siendo la división crisofita, principalmente las diatomeas las más abundantes con un 56 % del total, seguida por las clorofíceas con el 29 %, luego por las cianofíceas con el 11 % y finalmente por las criptofíceas con el 4 %.

En 1966, Acleto, en un estudio de algas de agua dulce realizadas en las “Cascadas de Barranco” (Lima), reportó solo una especie de *Euglena sp.*

Se realizó un estudio de Evaluación de protozoarios patógenos (Cussi R., 2008) encontrándose una frecuencia alta de *Giardia sp* y *Criptosporidium sp*, entre otros parásitos realizado en el embalse Cerro Blanco Calana de la Empresa Prestadora de Servicios, Tacna.

Mendoza (2015), reporta para el Perú un total de 74 géneros, 160 especies y 16 variedades de algas (excepto Bacillariophyceae) asociadas a plantas acuáticas (macrófitas) en la laguna El Oconal. Las algas más abundantes fueron las Chlorophyta con un 28.3 %, seguidas de las Cyanobacteria con un 27,7 %, Euglenophyta 19,3 %, Streptophyta 10,8 %, Ochrophyta 10,8 %, Cryptophyta 2,4 %, Glaucophyta 0,6 %, Dinoflagellata 0,6 %.

La mayoría de los trabajos sobre algas asociadas al bentos (fijas o no sobre un sustrato) se han realizado en lagos y ríos. Hay estudios descriptivos, tanto a nivel de especie como de comunidad, desde hace mucho tiempo. Sin embargo, es escasa la investigación sobre las causas que determinan la presencia, colonización y crecimiento del perifiton (Hillbricht-Ilkowska et al., 1972; Marcus, 1980; Austin & Deniseger, 1985; Kairesalo et al., 1985; Sandgren, 1988). Sobre todo, hay poquísimos trabajos que estudien al mismo tiempo el fitoplancton y el perifiton de un ecosistema (Casco, 1990; Toja y Casco, 1991a y b; Sugunan, 2000). Y, además, muy pocos de estos trabajos se centran en embalses.

Perifiton es una matriz de algas y microorganismos heterótrofos adherida a estructuras sumergidas en casi todos los ecosistemas acuáticos. Se utilizan como bioindicadores debido a que miden y cuantifican la magnitud del estrés, las características del hábitat y la respuesta ecológica al daño de un ecosistema (De la Lanza et al., 2000).

## **2.2. Embalse – Captación Cerro Blanco**

### **2.2.1. Embalses**

“Son volúmenes de agua retenidos en un vaso topográfico natural o artificial gracias a la realización de obras hidráulicas”. Estos sistemas contribuyen al mejoramiento del suministro de agua a regiones urbanas en tiempos de sequía, al control de crecientes de los ríos para reducir las posibles inundaciones, al mejoramiento de las condiciones paisajísticas, y a la generación de energía eléctrica, entre otros (Guevara, accedida 2016-08-18).

### **2.2.2. Embalse Cerro Blanco**

Los embalses de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A. se encuentran ubicados en el Distrito de Calana anexo Cerro Blanco, Km 03 Zona Noreste, el embalse 1 con una capacidad de 50 000 m<sup>3</sup> funciona desde 1991; y el embalse 2, con capacidad de 60 000 m<sup>3</sup> opera desde 1995. En estos embalses se deposita el agua del canal Uchusuma (300 L/s), principal proveedor de agua para la población tacneña. Durante las épocas de lluvias y huaycos, la captación de aguas superficiales presenta turbiedad, ocasionando que los embalses se vean colmatados (Memoria descriptiva – EPS Tacna, 2004).



*Figura 1* Embalses de cerro blanco de la Empresa Prestadora de Servicios.

Fuente: Imágenes google.

En la zona denominada Cerro Blanco se ubica el partidor que divide el caudal de agua para uso poblacional y agrícola. La dotación de agua correspondiente a la EPS Tacna S.A es de 400 l/s y es conducida a un sistema de almacenamiento conformado por dos embalses. Dichos embalses sirven como vaso regulador del caudal de agua que abastece a la Planta de Tratamiento Calana.

El sistema de embalses es el principal sistema de regulación y sedimentación de caudal de tratamiento, se encuentran instalados en serie y también pueden operar en paralelo. Cumplen la función de almacenar el recurso hídrico y difundirlo según la necesidad y

demanda. El agua que sale de los embalses es conducida hacia la planta de Calana por 3 km de canal y 2 líneas de conducción de 1832 m de 20 y 21 pulg de diámetro.

**a. Descripción del predio**

- **Predio**

Embalse Cerro Blanco

- **Propietario**

E. P. S. TACNA S. A. (Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S. A.)

- **Ubicación**

Región : Tacna.

Departamento : Tacna.

Provincia : Tacna.

Distrito : Calana.

Localidad : Anexo Cerro Blanco, Km 03 Zona Noreste

## **b. Del terreno**

El terreno es irregular en su topografía con mediana pendiente del 2,5 % del Norte hacia el Sur, no se encuentra cercado, pero sí existen elementos físicos que definen bordes significativos que coadyuvan a la mejor fijación de linderos. El relieve del suelo con fuertes depresiones (quebradilla) y promontorios (cerros) es susceptible de erosiones.

## **c. Colindancias y Linderos**

Considerando las coordenadas U. T. M. del plano y el ingreso al conjunto por la zona oeste, se tiene:

- **Por el norte:**

O costado izquierdo entrando, colinda con la trocha carrozable a Chuschuco, que separa de la propiedad de Edilberto Mazuelos Rejas, CUC 10207, tramo sinuoso de 152,46 m, seguido del terreno de Georgina Bernales Berrios, CUC 00274, tramo sinuoso de 272,48 m; voltea a la izquierda con la misma propiedad anterior en un tramo recto de 36,94 m, sigue a la izquierda en 4 tramos que corren paralelos al canal lateral Norte que separa de la propiedad de Ciro Monasterio R. con 53,70 m, luego 45,52 m, luego 36,94 m, y 89,54 m, que sumados dan

225,70 m, y finalmente voltea a la derecha con eriazos del Estado en un solo tramo recto de 293,75 m, lo que sumado a todos los tramos hacen 981,33 m, por esta colindancia.

- **Por el sur:**

O costado derecho, entrando colinda con propiedad de eriazos del Estado en un tramo recto de 202,60 m, seguido de propiedad del Sr. Ismael Chavez Supo con 100,00 m, por lo que suma en un solo tramo recto de 302,60 m, voltea a la derecha con 238,50 m, del mismo dueño y finalmente voltea a la derecha con 132,00 m, de eriazos del estado, lo que sumado a todos los tramos hacen 673,10 m, por esta colindancia.

- **Por el este:**

O fondo, colinda con terrenos eriazos del Estado ocupados por el Proyecto Especial Tacna (PET), que alberga otras 3 pozas embalses, en una línea paralela al pie del talud de la poza Nro. 01, en un solo tramo recto de 942,50 m.

- **Por el oeste:**

O frente, colinda con propiedad particular del Sr. Pablo Gandolfo, en un solo tramo recto de 382,77 m sigue de frente

Propiedad Pública del Estado como servidumbre del canal Uchusuma de 16,00 m, 5,00 m a cada lado del mismo, lo que suma 23,00 m; sigue un tramo recto de 84,00 m propiedad particular del Sr. Hector Gandolfo Palza, con CUC 00970, resultando un total del 489,77 m por este lindero.

**d. Área y perímetro**

El área total del predio es de 312 302,47 m<sup>2</sup>. El perímetro del predio es de 3 066,70 m.

**2.2.3. Sistema de captación de agua**

A continuación, se describe el sistema de captación de agua:

**a. Captación Cerro Blanco**

Es un canal lateral que se deriva del canal Uchusuma, de concreto armado con un vertedero de separación que reparte las aguas afluentes para el sector agrícola y el consumo humano, tiene rejas metálicas antes y después del separador.

**b. Conducción Cerro Blanco – Desarenador Uchusuma**

Canal de sección trapezoidal revestido con mampostería de piedra, tiene una longitud de 3000 m y pendiente promedio de

3 %, tiene su inicio en el Canal Uchusuma en la toma de derivación y sucesivamente pasa por los desarenadores del canal Uchusuma de Piedra Blanca, el embalse sedimentador de 50 000 m<sup>3</sup> antes de llegar a los desarenadores del canal Uchusuma. La capacidad es de 640 l/s y se encuentran en buen estado de conservación y funcionamiento.

**c. Conducción desarenadores Uchusuma – Cámara de reunión de Calana**

Existen dos tuberías que salen de los desarenadores Uchusuma, que llevan las aguas hasta la Cámara de reunión de la Planta de Potabilización de Calana.

La más antigua del año 1973, presenta una longitud de 1699 m y una capacidad estimada de 292 L/s. la segunda línea de conducción más reciente 1991, presenta una longitud de 1721 m de longitud total y capacidad estimada de 321 L/s.

**2.3. Indicadores biológicos**

Los indicadores biológicos, también llamados bioindicadores, se pueden definir como especies o comunidades de las mismas, que, por su presencia, proporcionan información sobre el medio físico y

químico en el que habitan (Bellinger & Sigeo, 2010), también se considera que indican algún estado de un sistema, o un problema frente al manejo del recurso hídrico, ya que el uso de bioindicadores está directamente relacionado con la valoración de la calidad del agua (Pinilla, 2000).

Por su parte, el uso de bioindicadores para detectar procesos y factores en los ecosistemas acuáticos tiene las siguientes ventajas (Ekwu & Sikoki, 2006; Reynolds, 2006; Domis, Mooij & Huisman, 2007; Paerl & Huisman, 2008; McQuatters-Gollop et al., 2009):

- Los organismos responden a efectos acumulativos intermitentes que en determinado momento los análisis fisicoquímicos no detectan.
- Los indicadores biológicos permiten detectar la aparición de elementos contaminantes nuevos.
- Como no es posible tomar muestras de toda la biota acuática, la selección de algunas pocas especies indicadoras simplifica y reduce los costos de la valoración sobre el estado del ecosistema, a la vez que se obtiene solo la información necesaria, desechando un cúmulo de datos difícil de manejar e interpretar.

Los bioindicadores logran acumular información acerca de los cambios intermitentes del cuerpo de agua, mientras que las variables fisicoquímicas no lo hacen, ya que brindan información inmediata y no histórica. Además, los indicadores biológicos representan las condiciones del sistema acuático de una manera rápida, fiable y relativamente barata de registrar. La implementación de indicadores biológicos disminuye la toma excesiva de parámetros fisicoquímicos. Además, manifiestan la presencia de nuevos contaminantes y dan una medida directa del impacto ecológico de parámetros ambientales sobre los organismos del medio acuático, reflejando de esta manera la calidad del agua (Bellinger & Sigeo, 2010; Pinilla, 2000).

Las algas son organismos muy heterogéneos que comparten una característica en común que es la clorofila "a", dicha heterogeneidad se manifiesta en su diversidad morfológica, la variedad de sus colores y sus tamaños. Las algas, por lo general son capaces de indicar la calidad del agua gracias a su sensibilidad a los cambios del medio en que viven, por tanto, se convierten en un referente del estado ecológico de cualquier sistema acuático (Lujan, 2000), estas juegan un importante rol benéfico en la naturaleza, ellas representan la productividad primaria de materia orgánica en ambientes

acuáticos debido a sus actividades fotosintéticas. Su desaparición significaría la ausencia de la primera fuente de alimento y energía para los animales acuáticos.

Las algas perifíticas son excelentes indicadores biológicos de la calidad del agua y su estado trófico, debido a la capacidad de acumular grandes cantidades de contaminantes nutrientes sustancias tales como insecticidas, herbicidas y fungicidas, metales pesados y materiales orgánicos (Sládečková 1962) y sustancias radiactivas.

#### **2.4. Perifiton**

El perifiton se define como una comunidad compleja de microbiota (algas, bacterias, hongos, animales, detritos orgánicos e inorgánicos) adherida a un sustrato, que puede ser orgánico o inorgánico, vivo o muerto (Wetzel 1983). Es también un componente de las comunidades bióticas acuáticas, su estudio es importante tanto desde la perspectiva ecológica, para comprender el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, como desde el punto de vista ambiental, pues su composición y estructura pueden servir como indicadores de la calidad del agua y de procesos que como la

contaminación puedan estar afectando a los ecosistemas (Montoya Y, Aguirre R., 2013).

Las comunidades perifíticas son utilizados como indicadores de la calidad del agua al vivir pegados al sustrato, reflejan los cambios ocurridos por alteraciones físicas, químicas y biológicas, (Pérez, et al., 2007), si por el contrario, hay un gran número de perturbaciones físicas, como incremento de la velocidad del agua y arrastre de sedimento, el perifiton tendría poco desarrollo (Stevenson, et al., 1996). Autores como Foertser y Schlichting (1965; citados en Roldán y Ramírez, 2008) separan los componentes vegetal y animal, denominándolos respectivamente ficoperifiton y zooperifiton.

El componente más estudiado del perifiton son las algas, considerado importante productor primario de los ecosistemas acuáticos. En algunos entornos de la fracción de algas perifíticas, alcanza aproximadamente el 90 % de la producción primaria total (Wetzel, 1990).

Las algas perifíticas se desarrollan mejor en sustratos que le ofrezcan estabilidad y donde la acción de las corrientes sea mínima. Incluso, en algunos casos, el tipo de sustrato, más que la intensidad lumínica o nutrientes, es el factor limitante en la producción de esta

comunidad (Roldán & Ramírez, 2008). Sin embargo, algunos autores afirman que los factores primordiales que limitan la productividad son la luz, agua, temperatura y nutrientes (Hynes, 1970), además de herbívoros, velocidad de la corriente y tipo de sustrato; como todos estos factores interactúan entre sí es difícil afirmar cuál es el factor que limita el crecimiento de las algas (Allan, 1995). Según Marshall (1984), se designa como biofilm o biopelícula al agregado de microorganismos y productos extracelulares asociados a un sustrato.

La importancia que en general se atribuye al perifiton en los ecosistemas acuáticos fue resumida por Moreira (1988) quien destacó su producción de metabolitos orgánicos que alimentan diversos organismos; su contribución con más del 70 % de la materia orgánica a la productividad total; sus altas tasas de reciclaje; su posibilidad de proporcionar abrigo y alimento a varios tipos de organismos, principalmente peces; su alta productividad primaria y su papel como mejor indicador biológico que el fitoplancton.

## **2.5. Comunidades perifíticas**

### **a. División Bacillariophyta**

Las algas silíceas o diatomeas son organismos diploides, unicelulares o coloniales. En aguas dulces son muy comunes de encontrar en el ambiente fitoplanctónico o sobre sustratos como rocas (Margalef, 1983 y Parra et al., 1982).

Las células presentan de dos a numerosos cloroplastos de color café, gracias a que los pigmentos accesorios como la diadinoxantina y fucoxantina enmascaran las clorofilas a y c y beta caroteno. El material de reserva es la crisolaminarina o leucosina. Algunas especies presentan gotas de aceite al interior de la célula (Margalef, 1983 y Parra, 1982). La pared celular está compuesta de sílice; cada frústulo está constituido por dos partes, la parte superior llamada epiteca y la inferior llamada hipoteca. La parte que corresponde al fondo de la tapa se denomina valva. La pared vertical de cada teca conforma la pleura, y al conjunto de ambas pleuras de un frústulo se le denomina cingulum (Margalef, 1983 y Parra, 1982).

Las valvas de las diatomeas tienen ornamentaciones características y se presentan en diferente número y posición, lo que constituye como carácter para identificación de especies (Margalef, 1983 y Parra, 1982). Las especies de diatomeas son bastante específicas a las condiciones en las que viven, por ejemplo pH, alcalinidad, salinidad, nivel de nutrientes, etc. Debido a esto y a la gran abundancia que pueden llegar a tener, es posible utilizarlos como indicadores ambientales e inclusive realizar, a partir de las asociaciones encontradas en una secuencia estratigráfica marina o lacustre, estimaciones sobre los valores que presentaron estos parámetros en el pasado (Battarbee et al., 2001).

La reproducción comúnmente se da por simple división celular, en donde la epiteca y la hipoteca de la célula madre pasan a ser la epiteca de la célula hija, de modo que la nueva semiteca formada es siempre la hipoteca. También se da la formación de auxosporas, que para las diatomeas centrales es por medio de oogamia. La reproducción sexual en pennales es por iso o anisogamia (Margalef, 1983 y Parra, 1982).

## **b. División Chlorophyta**

Son llamadas algas verdes por su “intenso brillo en los cloroplastos”; se pueden encontrar tanto formas coloniales como unicelulares. Miden entre 5 micrones y 1 milímetro y pueden ser móviles o inmóviles. Los estudios realizados las asocian con sistemas eutróficos.

Este grupo es bastante diversificado y varía mucho en forma. Hay desde formas monadales, capsales y coccas, hasta formas coloniales móviles; también se encuentran agregados de filamentos conocíticos que forman en conjunto formas microscópicas, cuando las células son móviles tienen normalmente dos flagelos o a veces cuatro de posición anterior. Las células biflageladas presentan simetría bilateral (Parra, 1982).

La reproducción es asexual, por medio de esporas que se forman en el interior de la célula. La multiplicación vegetativa se hace por fragmentación en las especies pluricelulares y por división común en las unicelulares. En cuanto a la reproducción sexual puede ser por isogamia, oogamia y anisogamia (Parra, 1982).

### **c. División Cyanophyta**

Las cianobacterias son consideradas de gran utilidad como indicadores de estrés ambiental porque presentan una gran variedad de características ecofisiológicas que les permite ser exitosas en un amplio rango de condiciones ambientales (Mazur-Marzec & Plinski, 2008). Este comportamiento se debe a su antiguo origen evolutivo y a que son un grupo compuesto por diversos linajes, son además el grupo filogenético con mayor diversidad funcional, si consideramos sus rasgos morfológicos, pertenecientes a grupos funcionales y plasticidad o adaptabilidad fisiológica (Terrel & Bytnar, 1996; Smith & Smith, 2001; Józwiak, 2008; Bonilla, 2009)

Son importantes por su papel como productores primarios. Son células que contienen además de clorofila a y carotinoides, pigmentos accesorios llamados ficobilinas que brindan a la célula colores azul violeta, rojo y verde, aunque la clorofila b no está presente (Margalef, 1983 y Parra, 1982).

Morfológicamente presentan una delgada membrana propia de este grupo, que está ordinariamente rodeada por cubiertas orgánicas hidratadas, mucilaginosas, frecuentemente con

estratificación visible, en las que se reconocen una serie de glúcidos y ácidos glucorónico y galacturónico. Dichas cubiertas presentan pigmentos, unos de color amarillento y otro de matices rojo y azul.

La pared celular está compuesta de mureina. En las cianofíceas de células aisladas generalmente se presentan tilacoides orientados más o menos paralelamente a la superficie de las células, y en las hormogonales el aparato fotosintetizador rodea la célula como un manguito, dejando libres las proximidades de los tabiques o septos, donde se pueden acumular materiales de reserva. La reproducción es solamente vegetativa y no existen células flageladas (Margalef, 1983 y Parra, 1982).

Gracias a su capacidad para fijar nitrógeno molecular y mantener así la relación nitrógeno – fosforo (N: P) regulada, y por ser altamente sensibles a antibióticos de hongos y a metales, como el cobre, son ampliamente utilizadas en limnología como bioindicadores de la calidad del agua (Parra, 1982).

#### **d. División Euglenophyta**

Morfológicamente pueden ser desnudas o lorigadas, flageladas y sus células son generalmente pequeñas. Además, se consideran como indicadoras de aguas ricas en materia orgánica en descomposición, que generalmente se presenta en sistemas eutróficos (Ramírez & Viña, 1998).

En esta clase se presentan células de estados capsales y monadales (Parra, 1982). Están rodeadas de un periplasto compuesto por líneas espiraladas de naturaleza proteica. Los flagelos salen de una estructura denominada ampolla, compuesta por un ensanchamiento basal, el reservorio y la citofaringe. Los flagelos son generalmente dos; uno es muy corto y permanece en el interior de la ampolla, y el otro u otros sobresalen para ayudar a la célula a moverse y están cubiertos por pelos (Parra, 1982).

Los cloroplastos poseen envoltura triple y no se encuentran unidos a la envoltura nuclear por el retículo endoplasmático. Los tilacoides se presentan de a tres en lamelas y no existe una lamela periférica. Adjunto a la ampolla se encuentra el estigma, que consiste en numerosos glóbulos libres en el citoplasma y que

contienen carotenoides. Dentro del cloroplasto se encuentra embebido el pirenoide, que a su vez presenta lamelas con dos tilacoides (Parra, 1982).

#### **e. División Cryptophyta**

Las criptofíceas son, en su mayoría, flageladas (criptomonadales) unicelulares y constituyen un grupo de pocas especies, pero que pueden constituir poblaciones muy densas. Normalmente son células asimétricas, de 10 a 50  $\mu\text{m}$ , con dos flagelos desiguales (o uno solo, o cuatro, en géneros aberrantes) que salen de una depresión más o menos profunda o prolongada en forma de tubo que se introduce en la célula y que en su periferia tiene orgánulos que disparan eyectosomas. Presentan simetría dorsiventral, con el lado ventral plano y el dorsal redondeado (Margalef, 1983 y Parra, 1982).

#### **f. Phylum Amoebozoa**

Los Amoebozoa (Cavalier-Smith, 1998) es un supergrupo de eucariotas que incluye a gran parte de los organismos con movimiento ameboide, basado en la actividad de actina-miosina del citoesqueleto. La mayoría son unicelulares y muchos son de vida libre siendo comunes en el suelo y en los hábitats acuáticos,

algunos se encuentran en simbiosis con otros organismos, mientras que otros son parásitos. El movimiento ameboide lo realiza toda la célula, por lo que las amebas no suelen poseer una forma estable ni orgánulos locomotores diferenciados, haciendo que su identificación y clasificación desde el punto de vista morfológico sea muy complicada (Aguilar G., 2012).

#### **g. Phylum Arthropoda**

Los artrópodos son organismos triblásticos, que proceden, probablemente, de antecesores anélidos. La similitud a estos está evidenciada en la segmentación del cuerpo, tanto externa como interna, que en ocasiones se modifica profundamente. El Phylum Arthropoda representa, actualmente, el taxón más amplio del reino animal, teniendo en cuenta el elevado número de especies que lo integran y su adaptación a gran número de hospedadores y hábitats (Gallego, 1968). Es uno de los grupos más diversificados, ya que comprenden desde especies de vida libre hasta estrictamente parásitas al menos en ciertas etapas de su vida. (Rodríguez et al., 2009).

#### **h. Phylum Nematoda**

Es un grupo muy numeroso, hay nemátodos parásitos, de invertebrados, vertebrados y de plantas y de vida libre (dulceacuícolas, marinos y terrestres). Son alargados con ambos extremos ahusados, presentan simetría bilateral y el compartimento del tejido conectivo fluido, cavidad corporal que derivó del blastocele embrionario. Tienen un sistema digestivo completo, con la boca en el extremo anterior y el ano cerca del extremo posterior.

El cuerpo está recubierto con una cutícula no celular que es secretada por la hipodermis y es eliminada cuatro veces durante la ontogenia. Los músculos de la pared del cuerpo presentan un arreglo longitudinal, sin capa circular. El sistema excretor consiste en glándulas ventrales, canales laterales, o ambas, abriendo cerca del extremo anterior por un poro excretor ventral. Excepto por algunos órganos sensitivos que tienen cilias modificadas, no presentan cilias ni flagelos. La mayoría de los nemátodos son dioicos y presentan un dimorfismo sexual considerable: las hembras son generalmente más grandes, y el extremo posterior del macho es más curvado.

## **i. Phylum Rotífera**

El filo Rotifera abarca unas 2 000 especies de pequeños invertebrados acuáticos. De tamaño microscópico, puesto que su talla varía aproximadamente entre 20 a 2 000  $\mu\text{m}$ , los rotíferos constituyen el grupo de metazoos más pequeños. Muy pocos rotíferos son parásitos, la mayoría de ellos viven de forma libre, alimentándose por filtración de microalgas, bacterias o detritos; algunos géneros son depredadores. Muchas especies de rotíferos se mueven nadando o reptando, pero hay muchas especies que tienen vida sésil, de modo que viven fijos, principalmente sobre plantas acuáticas. Mayoritariamente son organismos que pueblan las aguas continentales, teniendo en el plancton un papel ecológico muy importante, el de los microfiltradores (Consejería de Medio Ambiente).

## **2.6. Características físico químicas del agua**

### **a. pH**

El pH está determinado por la concentración de iones de hidrógeno libres y está influenciado por los procesos biológicos dentro del ecosistema (Roldan & Ramírez, 2008). El pH afecta procesos químicos y biológicos en el agua. La mayor parte de los

organismos acuáticos prefieren un rango entre 6,5 y 8,5 pH por fuera de este rango suele determinar disminución en la diversidad, debido al estrés generado en los organismos no adaptados. Bajos valores de pH también pueden hacer que sustancias tóxicas se movilicen o se hagan disponibles para los animales (Goyenola, 2007).

#### **b. Conductividad**

La conductividad es una variable que afecta también la comunidad de algas perifíticas, esta variable está relacionada en la mayoría de los casos, con el patrón de estratificación térmica de la columna de agua y con la duración de este periodo. En algunos casos el valor de la conductividad en el hipolimnio puede ser hasta seis veces mayor que en el epilimnio, lo cual hace un muestreo integrado de toda la columna de agua (Estévez, 1998).

En los trópicos los valores de la conductividad están relacionados con la naturaleza geoquímica del terreno, su concentración varía principalmente en la época de lluvia, sequía y estado trófico (Acosta, et al., 2005).

### **c. Turbidez**

La turbidez está relacionada con las partículas disueltas en el agua, estas partículas sólidas bloquean la luz solar y evitan que las plantas acuáticas obtengan la luz solar que necesitan para la fotosíntesis. Las plantas producirán menos oxígeno y con ello bajarán los niveles de Oxígeno Disuelto (Acosta, et al., 2005).

### **d. Temperatura**

Con respecto a la temperatura las distintas divisiones de algas se desarrollan dependiendo al rango de temperatura, por lo menos, las diatomeas crecen en rangos de 5 °C a 20 °C, las algas verdes y pardas entre 15 °C y 30 °C y las cianobacterias a 30 °C (De Nicola, 1996).

### **e. Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

El término sólidos hace alusión a materia suspendida en un medio acuoso. Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua un efluente de varias formas. Las concentraciones de Sólidos Disueltos Totales guardan una correlación positiva con la productividad en lagos, al mismo tiempo afectan la penetración de luz en la columna de

agua y la absorción selectiva de las diferentes longitudes de onda que integran el espectro visible (CIESE, 2006).

**f. Características químicas (Barrenechea, 2004)**

- El Arsénico, un elemento muy tóxico para el hombre, su toxicidad es muy compleja, pues depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (química u orgánica) del compuesto, siendo el responsable de casos de intoxicación en seres humanos el arsénico inorgánico.
- Fosfatos, es común encontrarlos en el agua. Son nutrientes de la vida acuática y limitante del crecimiento de las plantas. Sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos.
- Nitratos, si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos.

- Sulfatos, son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad.

No todas las formas de nitrógeno y fósforo que se encuentran en la superficie del agua son disponibles para el crecimiento de las algas; solo el nitrógeno en forma de nitrato y amonio, que se encuentran en los sedimentos erosionados ( $\text{NH}_4^+$ ) en la materia orgánica (N y  $\text{NH}_4^+$ ) y las aguas de escorrentía ( $\text{NH}_3^-$ ) constituyen la principal fuente de N en aguas continentales (Follett, 2001).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Tipo de investigación**

La presente investigación es de diseño no experimental, descriptivo transversal.

#### **3.2. Área de estudio**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el embalse Cerro Blanco de la Empresa Prestadora de Servicios, ubicada en el distrito de Calana anexo Cerro Blanco, Km 03 Zona Noreste, departamento de Tacna. El embalse Cerro Blanco se encuentra entre las coordenadas geográficas se ubican entre los paralelos 17°33 y 18°19 de latitud sur y los meridianos 69°43 y 70°33 de longitud Oeste, el embalse 1 cuenta con una capacidad de 50 000 m<sup>3</sup> funciona desde 1991; y el embalse 2, con capacidad de 60 000 m<sup>3</sup> opera desde 1995.

En estos embalses se deposita el agua del canal Uchusuma (300 L/s), principal proveedor de agua para la población tacneña. Durante las épocas de lluvias y huaycos, la captación de aguas superficiales presenta turbiedad, ocasionando que los embalses se vean colmatados (Memoria descriptiva – EPS Tacna, 2004).

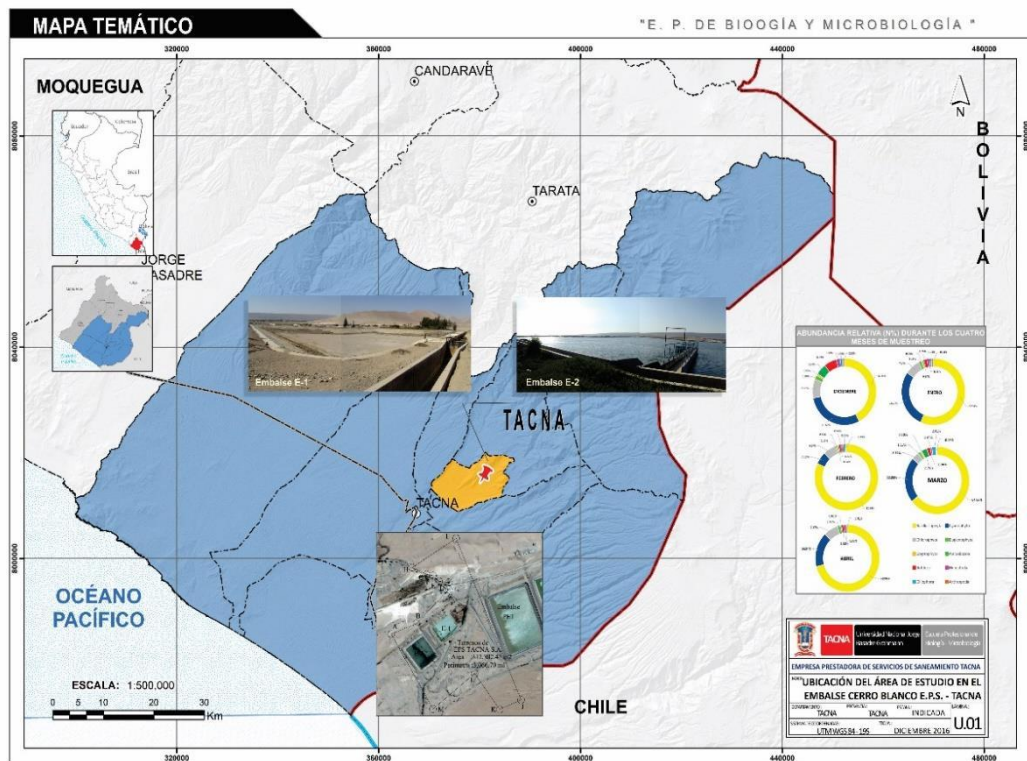


Figura 2 Mapa de ubicación del embalse Cerro Blanco, Calana Tacna.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Materiales

Para el desarrollo del presente estudio:

#### a. De campo

Para la recolección de muestras se utilizaron bolsas, espátulas, y envases de plástico de 100 ml, además fue necesario el uso de agua destilada y formol para preservación al 4 % de las comunidades perifíticas.

## **b. De laboratorio**

Para la observación de las muestras se utilizó láminas portaobjetos, lugol, microscopio compuesto binocular, así como también la cámara Sedgewick Rafter Counting Chamber. La identificación taxonómica se hizo consultando bibliografía especializada proporcionada por el Laboratorio de Botánica.

### **3.4. Metodología**

Se programaron cinco salidas de campo para la colecta de material biológico, además se seleccionaron cinco puntos de muestreo en el embalse Cerro Blanco de la Empresa Prestadora de Servicios, realizándose desde los meses diciembre 2015 hasta abril de 2016.

#### **3.4.1. Parámetros físico-químicos**

Se analizarán in situ los siguiente parámetros pH, temperatura (°C) conductividad eléctrica ( $\mu\text{mho/cm}$ ), turbidez (UNT) y solidos totales disueltos (mg/L) siguiendo los protocolos metodológicos del Standard Methods for the Examination of Water an Wastewater (2005). Se introducirá el electrodo de cada instrumento en la corriente de agua a una profundidad aproximadamente de 10 cm y se registrar los valores una vez que estos se estabilicen.

### **3.4.2. Metodología de laboratorio**

#### **a. Colecta y fijación del perifiton**

La técnica de colecta y fijación en campo se basó en algunas pautas del Manual “Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: Perifiton en aguas continentales del Perú (UNSM, 2014).

El perifiton se colectó mediante el raspado y lavado del sustrato (geomembrana) sumergido, en áreas determinadas de 10 x 10 cm (Lopretto y Tell, 1995). La preservación de muestras fue directa empleando solución de formol al 4 % que se agregó en cada frasco con muestra (hermético y debidamente rotulado), y fueron evaluados en el Laboratorio de Botánica de la Escuela Profesional de Biología Microbiología, Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

#### **b. Procesamiento de las muestras en laboratorio**

Las actividades del laboratorio se realizaron en dos aspectos: análisis de las muestras que se logró colectar y la clasificación taxonómica de las comunidades perifíticas. La identificación taxonómica de los especímenes que se colectaron se realizó con el auxilio de las claves adecuadas proporcionadas por el

laboratorio de Botánica, la página web Algaebase.org y contando con el material óptico necesario.

Se determinó las divisiones en cada punto de muestreo promediando los datos, se estimó abundancias, riquezas de familia, Índices de diversidad: Shannon-H (Shannon & Wiener, 1949), Menhinick, Margalef y Simpson empleando el PAST.

La metodología de la SMEWW 21st Ed. 2005. Part 10300C. Pág 10-34. APHA-AWWA-WEF. Periphyton Sample Analysis, requiere el uso de una cámara Sedgwick-Rafter (recomendada para organismos por encima de 200 micras). Sin embargo, para organismos más pequeños, que son los más abundantes en el perifiton, se sugiere hacer un preparado sobre una lámina y una laminilla y proceder a la identificación; la parte 10300E menciona que no existe un método universalmente aceptado. (UNSM, 2014).

### **c. Método de análisis numérico (Tratamiento de datos)**

Se calcularon índices de diversidad de especies como Shannon, Simpson y Margalef y el Índice Biológico de Contaminación. Para conocer que parámetros fisicoquímicos

tuvieron más influencia con las comunidades periféricas, se realizó una correlación.

### 3.5. Índices de calidad de agua

#### 3.5.1. Índice de diversidad biológica de Shannon-Wiener (H')

Para el cálculo de la diversidad biológica se empleó el índice de Shannon-Wiener (H') este se basa en la teoría de la información y es una medida del grado promedio de "incertidumbre" al predecir que especie pertenece un individuo escogido al azar de una colección de S y N. Esa incertidumbre promedio aumenta en la medida que aumenta el número de especie y la distribución de individuos entre las especies se torna aproximadamente igual. H' tiene dos propiedades medibles de diversidad (Pérez, 2004).

(1) H'= 0 si y sólo sí hay una especie en la muestra.

(2) H'= Es máxima, sólo cuando la S especie están representada por el mismo número de individuos.

La ecuación del índice de Shannon-Wiener es la siguiente:

$$H' = -\sum_{i=1} [(n_i/n) \text{Ln} (n_i/n)]$$

Donde:

$n_i$  = número de individuo que pertenece a la especie de la muestra.

$n$  = número total de individuos en la muestra.

$\ln$  = logaritmo natural.

### 3.5.2. Índice de Dominancia Simpson

Este índice es inverso al concepto de equidad de la comunidad, ya que toma en cuenta las especies con mayor importancia sin considerar al resto de especies, siendo menos sensible con la riqueza de las especies (Krebs, 1978; Magurran, 1991; Feinsinger, 2003)

Para calcular el índice se utiliza la siguiente fórmula:

$$D = \sum \left( \frac{n^2}{N^2} \right) = \sum (p_i)^2$$

Donde:

$D$  = Índice de dominancia de Simpson

Pi= Abundancia proporcional de la especie *i*, lo cual implica obtener el número de individuos de la especie *i* dividido entre el número total de individuos de la muestra.

### 3.5.3. El índice de diversidad de Menhinick (DMn)

Se basa en la relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, que aumenta al aumentar el tamaño de la muestra (Moreno 2001).

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

Donde:

S= Número de especies

N= Número de individuos observados

### 3.5.4. Índice Biológico de Contaminación

La determinación de la calidad del agua se realizará mediante el uso de índice de Polución biológicos. (Municipal Environmental Research Laboratory, 1977; Horasawa I., 1942).

$$\text{BIP} = \frac{\text{B}}{\text{A} + \text{B}} \times 100$$

Donde:

A= representa a los productores (algas)

B= Representa a los consumidores (protozoos)

Los valores:

0,6 = Zona de agua limpia

12,0 = Zona de moderada descomposición

30,9 = Zona de descomposición activa

55,1 = Zona séptica

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Análisis fisicoquímico del embalse Cerro Blanco

Los parámetros fisicoquímicos del agua del embalse Cerro Blanco fueron analizados por la Empresa Prestadora de Servicios-EPS, los cuales se mantuvieron relativamente constantes mostrando ligeras oscilaciones durante los meses de febrero y marzo, por el incremento de las lluvias en la zona altoandina.

Tabla 1  
*Promedio de los parámetros fisicoquímicos entre los meses de diciembre 2015 hasta el mes de abril 2016.*

PARÁMETRO	DICIE.	ENE.	FEBR.	MARZ.	ABRIL	PROM
pH	8,31	8,28	7,84	8,32	8,24	8,20
Temperatura	20,1	19,9	21,5	26,6	18,7	21,4
conductividad	530	602	600	610	582	585
TDS	262,35	297,99	297,00	302,00	301,95	292,26
Turbidez	4,75	6,21	152	37,2	42,8	48,59
Sulfatos	190	204	198	198	187	195
Nitratos	2,14	2,31	2,34	2,38	2,63	2,36
Fosfatos	0,13	0,14	0,14	0,1	0,12	0,13
Arsénico	0,129	0,122	0,112	0,168	0,155	0,137

Fuente: EPS-Tacna

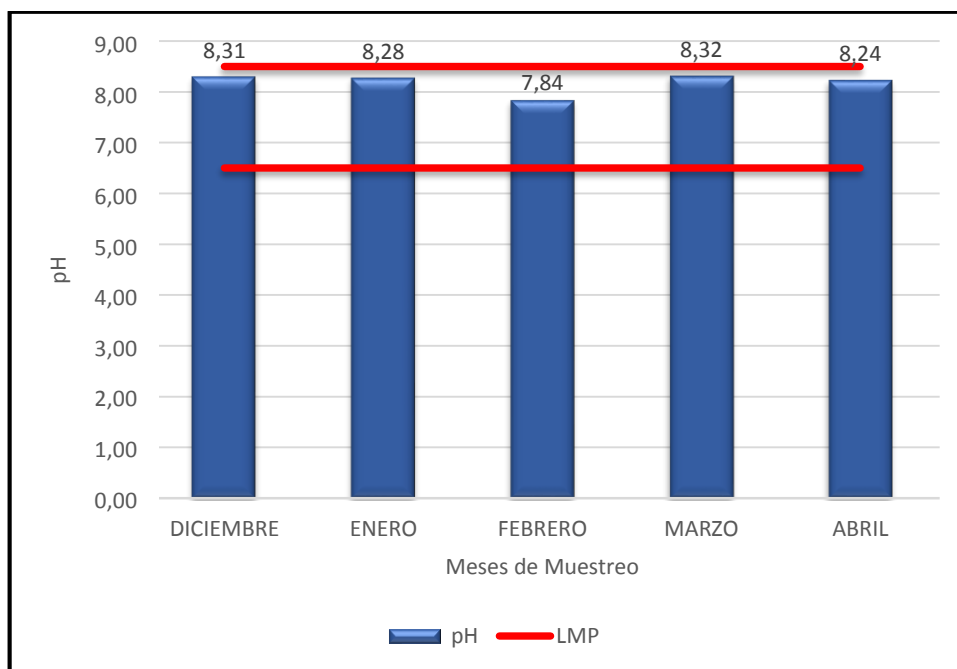


Figura 3 Fluctuación del pH en los cinco meses de muestreo, comparados con LMP

Fuente: EPS-Tacna

En la Figura 3 se muestra el comportamiento del pH durante los cinco meses de muestreo en el embalse, con el máximo valor observado en el mes de marzo (8,32), y el mínimo valor en el mes de febrero (7,84), visualizando un comportamiento ligeramente alcalino del embalse, pero según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA., van desde 6,5 hasta 8,5 por lo que las muestras están dentro del rango de aceptación de los LMP según norma.

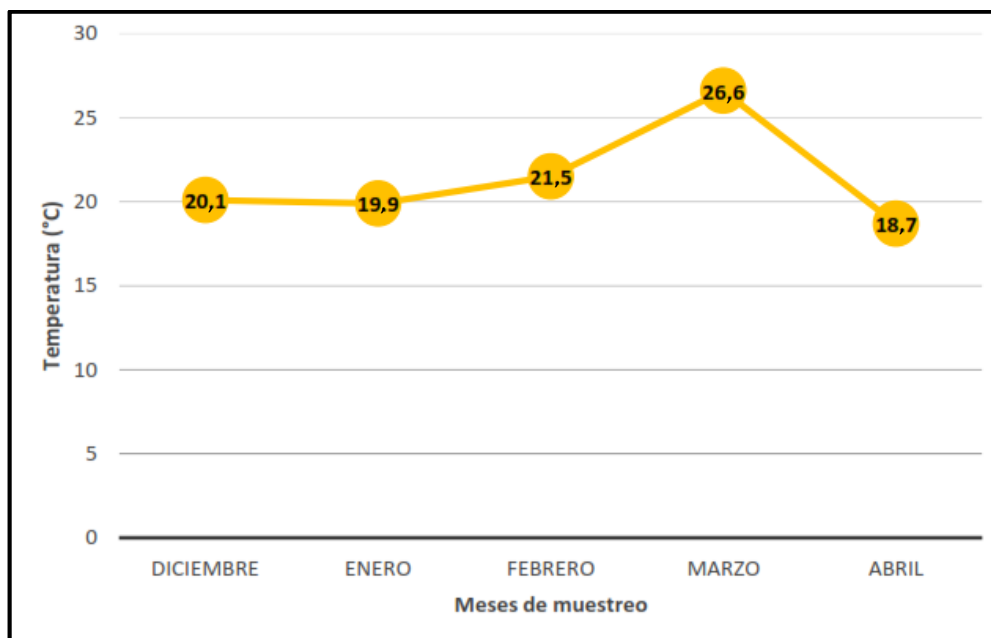


Figura 4 Variación de la Temperatura durante los cinco meses de muestreo

Fuente: Tabla 1

La temperatura durante los cinco meses de estudio osciló entre 18,7 °C como temperatura mínima y como máxima 26,6 °C presentada en la Figura 4, en los meses de abril y marzo respectivamente. El promedio de la temperatura fue de 21,4 °C, registrado en la Tabla 1.

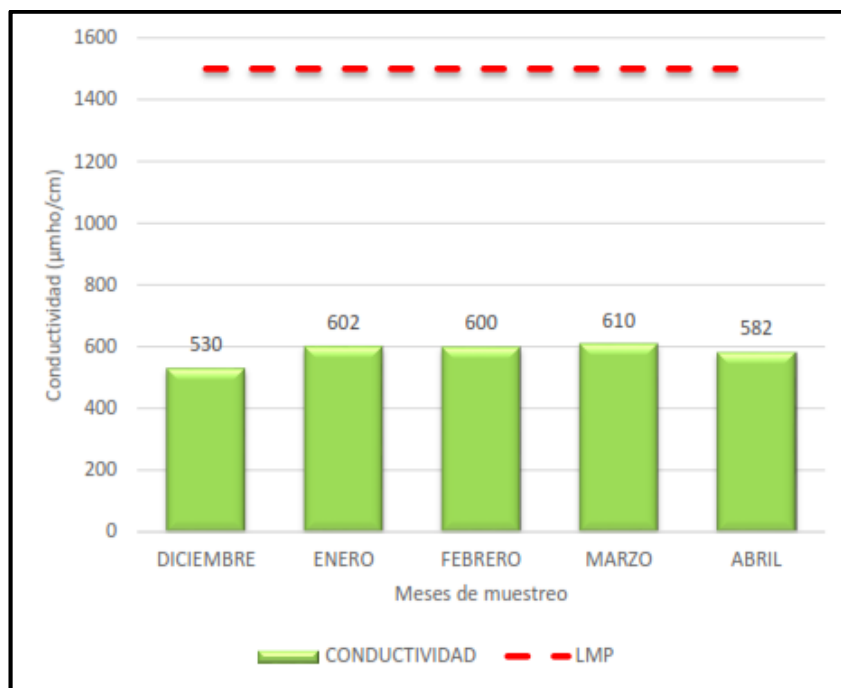


Figura 5 Fluctuación de la conductividad en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP

Fuente: EPS-Tacna

En el Figura 5 se muestra el comportamiento de la conductividad durante los cinco meses de muestreo en el embalse, con el máximo valor observado en el mes de marzo (610 µmho/cm), y el mínimo valor en el mes de diciembre (530 µmho/cm), visualizando un comportamiento constante durante el tiempo de muestreo, según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA., los LMP son de 1500 µmho/cm. por lo que todas las muestras están por debajo del rango de aceptación de los LMP según norma.

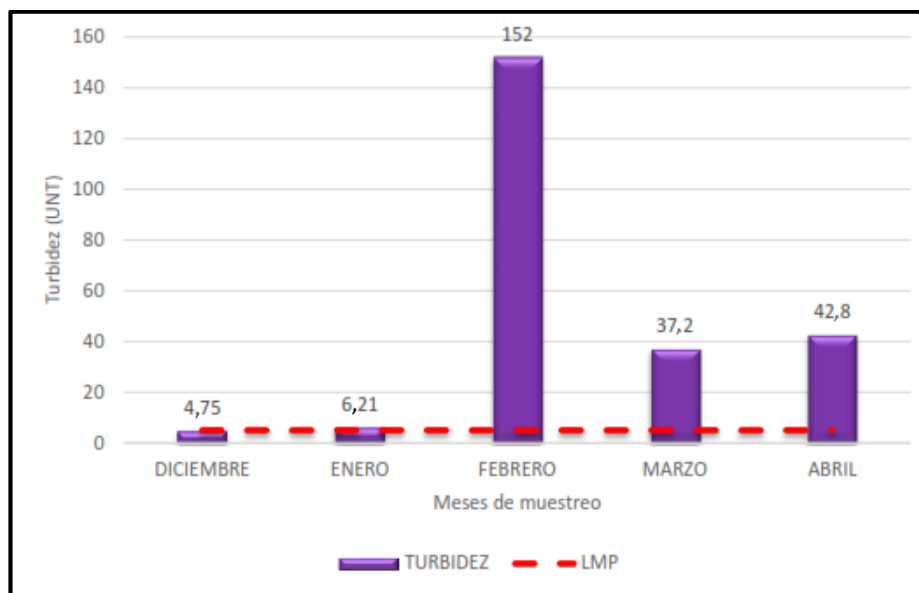


Figura 6 Fluctuación de la turbidez en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP

Fuente: EPS-Tacna

La fluctuación de turbidez durante los cinco meses de muestreo, presentados en la Figura 6, se observa que el mes de febrero presenta el máximo valor de 152 UNT, y el mínimo valor en el mes de diciembre 4,75 UNT, según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA., la turbiedad debe ser menor a 5 unidad nefelométrica de turbiedad, por lo que la mayoría de las muestras están por encima del rango de aceptación de los LMP según norma a excepción del mes de diciembre.

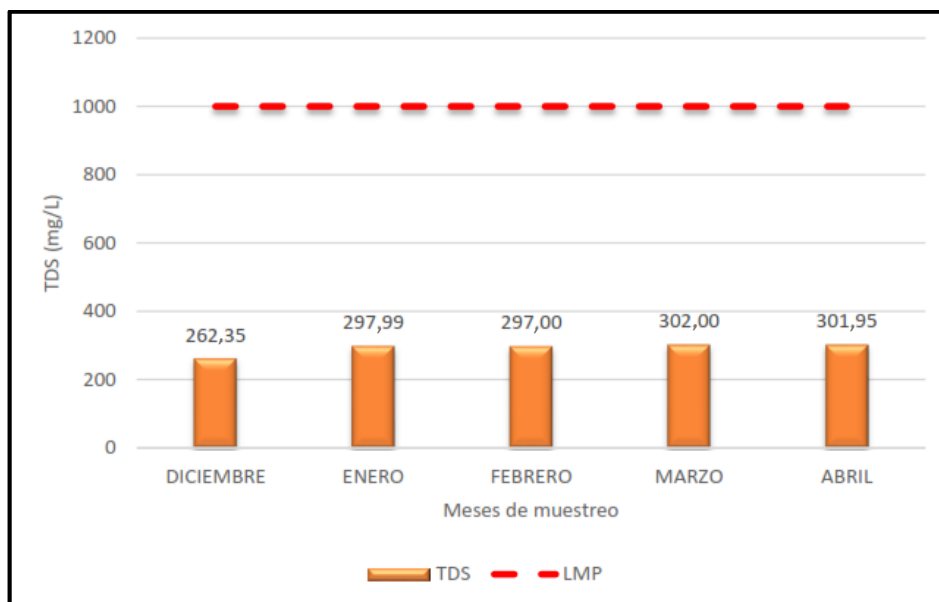


Figura 7 Fluctuación de Sólidos disueltos totales (TDS) pH en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP.

Fuente: EPS-Tacna

La Figura 7 muestra la fluctuación de Sólidos Disueltos Totales (TDS) observados durante los cinco meses de muestreo, con el máximo valor observado en el mes de marzo (302,00 mg/L), y el mínimo valor en el mes de diciembre (262,35 mg/L), presentando un comportamiento constante durante el tiempo de muestreo, según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA., los LMP para los sólidos totales disueltos es de 1000 mg/L por lo que todas las muestras están por debajo del rango de aceptación de los LMP según norma.

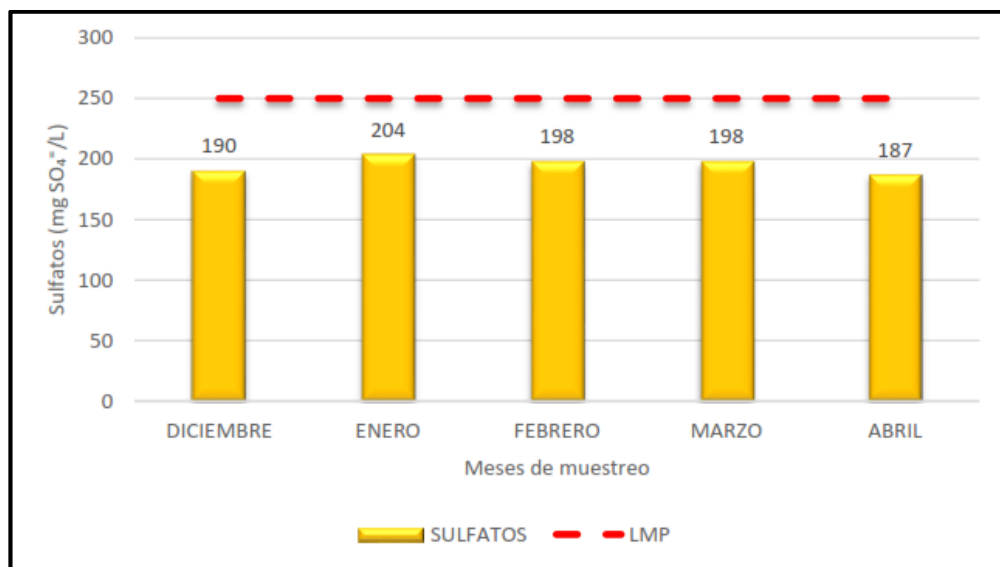


Figura 8 Fluctuación de Sulfatos en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP.

Fuente: EPS-Tacna

La Figura 8 muestra la fluctuación del Sulfato durante los cinco meses de muestreo, con el máximo valor observado en el mes de enero (204,00 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L), y el mínimo valor en el mes de abril (187 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L), presentando un comportamiento constante durante el tiempo de muestreo, según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA., los LMP para sulfatos es de 250 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/L por lo que todas las muestras están por debajo del rango de aceptación de los LMP según norma.

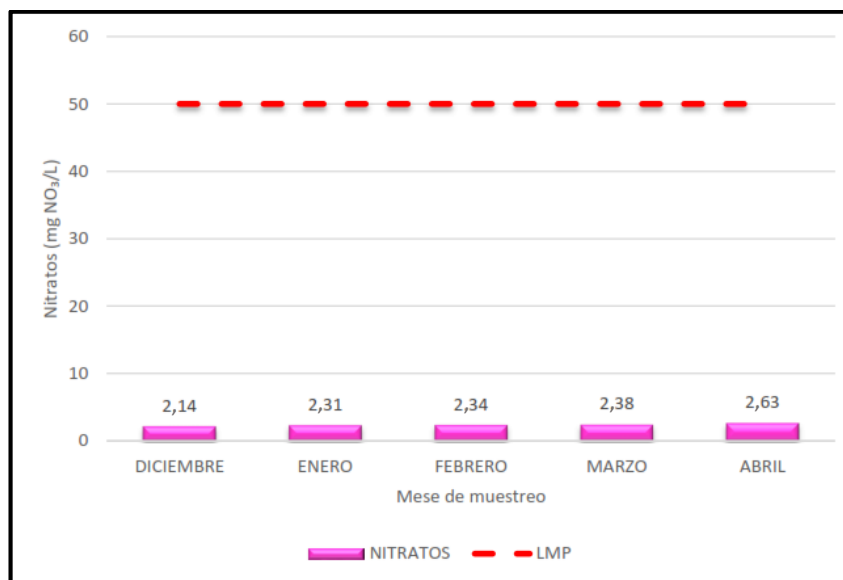


Figura 9 Fluctuación de Nitratos en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP.

Fuente: EPS-Tacna

Los nutrientes (nitratos y fosfatos, principalmente) son responsables de la productividad primaria. Su fuente natural es la descomposición de la materia orgánica, la cual al mineralizarse pone de nuevo estos iones a disposición de las plantas y las algas (Roldán y Ramírez, 2008). La Figura 9 muestra la fluctuación del Sulfato en los cinco meses de muestreo, con el máximo valor observado en el mes de abril (2,63 mg NO<sub>3</sub>/L), y el mínimo valor en el mes de diciembre (2,14 mg NO<sub>3</sub>/L), según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA., los LMP para nitratos es de 50 mg NO<sub>3</sub>/L por lo que todas las muestras están por debajo del rango de aceptación de los LMP según norma.

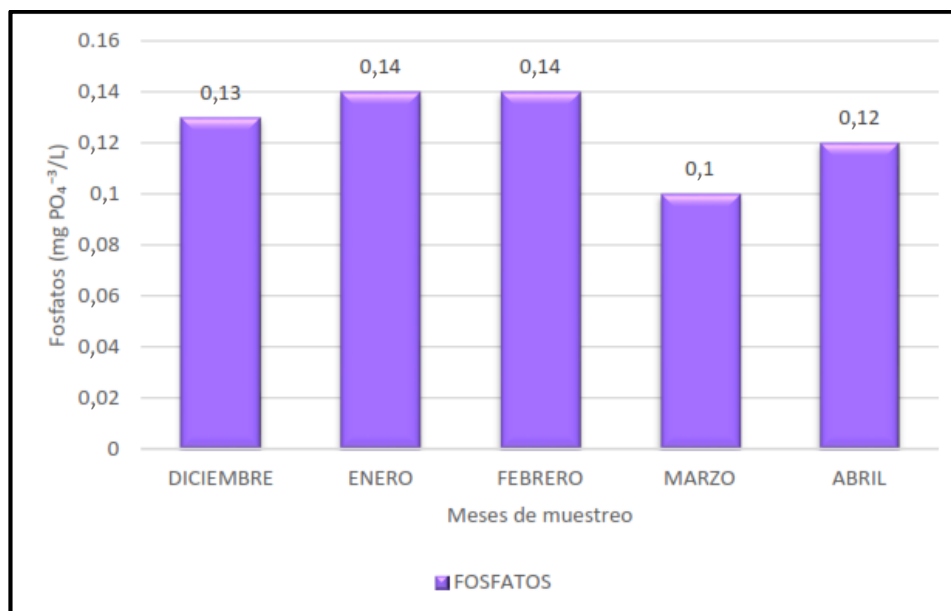


Figura 10 Fluctuación de fosfato en los cinco meses de muestreo.

Fuente: EPS-Tacna

La Figura 10 muestra la fluctuación del fosfato en los cinco meses de muestreo, con el máximo valor observado en el mes de abril (0,14 mg PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>/L), y el mínimo valor en el mes de enero y febrero (0,1 mg PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>/L).

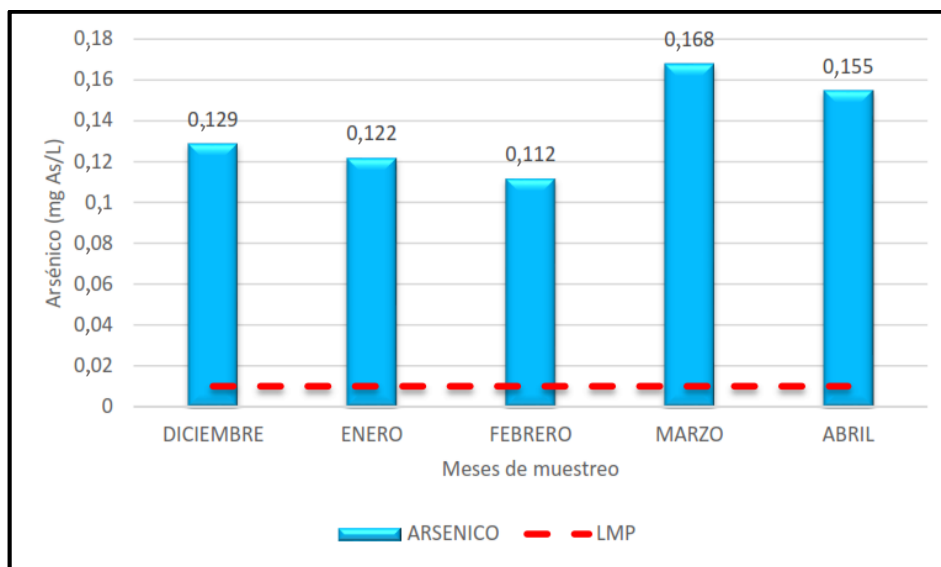


Figura 11 Fluctuación de arsénico en los cinco meses de muestreo, comparados con los LMP.

Fuente: EPS-Tacna

La Figura 11 muestra la fluctuación del Arsénico durante los cinco meses de muestreo, observándose el máximo valor en el mes de marzo (0,168 mg Ar/L), y el mínimo valor en el mes de febrero (0,112 mg Ar/L), según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA., los LMP para el arsénico es de 0,01 mg Ar/L por lo que todas las muestras están por encima del rango de aceptación de los LMP según norma.

## 4.2. Análisis del perifiton

En el siguiente listado taxonómico se presenta las diferentes comunidades perifíticas encontradas durante los meses de diciembre 2015 hasta abril 2016, en el embalse Cerro Blanco de la Empresa Prestadora de Servicios Tacna. Se encontró 128 especies distribuidos en 69 géneros, 56 familias, 34 órdenes y 16 clases, estas comunidades están constituidas por diez grupos funcionales: Bacillariophyta, Cyanophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Amoebozoa, Rotifera, Nematoda, Ciliophora, Arthropoda. El grupo dominante fue la división Bacillariophyta, se encontraron 68 de un total de 128 especies, las cuales estaban distribuidas en 13 órdenes, 21 familias, 28 géneros.

Las especies más abundantes fueron *Ephitemia turgida* con 483 individuos, seguidamente de *Anabaena oscillarioide* con 462 individuos y *Navicola viridula* con 422 individuos.

## **División Bacillariophyta**

Clase Bacillariophyceae

Orden Bacillariales

Familia Bacillariaceae

Género Denticula

Género Hantzschia

Género Nitzschia

Orden Cocconeidales

Familia Cocconeidaceae

Género Cocconeis

Orden Cymbellales

Familia Anomoeoneidaceae

Género Anomoeoneis

Familia Cymbellaceae

Género Cymbella

Familia Gomphonemataceae

Género Gomphonema

Orden Eunotiales

Familia Eunotiaceae

Género Eunotia

Orden Fragilariales

Familia Fragilariaceae

Género Fragilaria

Orden Mastogloiales

Familia Achnanthaceae

Género Achnanthes

Familia Mastogloiaceae

Género Mastogloia

Orden Melosirales

Familia Melosiraceae

Género Melosira

Orden Naviculales

Familia Amphipleuraceae

Género Amphipleura

Género Frustulia

Familia Diadesmidaceae

Género Luticola

Familia Diploneidaceae

Género Diploneis

Familia Stauroneidaceae

Género Stauroneis

Familia Naviculaceae

Género Gyrosigma

Género Caloneis

Género Navicola

Familia Pinnulariaceae

Genero Pinnularia

Orden Rhopalodiales

Familia Rhopalodiaceae

Género Rhopalodia

Género Ephitemia

Orden Surirellales

Familia Surirellaceae

Género Cymatopleura

Género Surirella

Orden Tabellariales

Familia Tabellariaceae

Género Diatoma

Orden Thalassiophysales

Familia Catenulaceae

Género Amphora

Clase Mediophyceae

Orden Stephanodiscales

Familia Stephanodiscaceae

Género Cyclotella

## **División Cyanobacteria**

Clase Cyanophyceae

Orden Chroococcales

Familia Chroococcaceae

Género Chroococcus

Familia Gomphosphaeriaceae

Género Gomphosphaeria

Orden Nostocales

Familia Aphanizomenonaceae

Género aphanizomenon

Familia Microchaetaceae

Género Tolypothrix

Familia Nostocaceae

Género Anabaena

Familia Scytonemataceae

Género Scytonema

Orden Oscillatoriales

Familia Oscillatoriaceae

Género Lyngbya

Género Oscillatoria

Familia Phormidiaceae

Género Phormidium

Familia Pseudoanabaenaceae

Género Pseudoanabaena

Orden Synechococcales

Familia Merismopediaceae

Género Aphanocapsa

Género Merismopedia

Clase Chlorophyceae

Orden Chlorococcales

Familia Chlorococcaceae

Género Ankyra

Orden Sphaeropleales

Familia Selenastraceae

Género Ankistrodesmus

Familia Scenedesmaceae

Género Scenedesmus

Orden Tetrasporales

Familia Palmellaceae

Género Sphaerocystis

Clase Trebouxiophyceae

Orden Chlorellales

Familia Chlosteriaceae

Género Closteripsis

Familia Oocystaceae

Género Oocystis

Clase Zygnematophyceae

Orden Zygnematales

Familia Closteriaceae

Género Closterium

Familia Desmidiaceae

Género Cosmarium

Género Staurastrum

Familia Mesotaeniaceae

Género Netrium

Familia Zygnemataceae

Género Spirogyra

Género Zignema

## **División Euglenophyta**

Clase Euglenophyceae

Orden Euglenales

Familia Astasiaceae

Género Astasia

Familia Euglenaceae

Género Euglena

Género Phacus

Género Trachelomona

## **División Cryptophyta**

Clase Cryptophyceae

Orden Cryptomonadales

Familia Cryptomonadaceae

Género Criptomonas

## **Phylum Nematoda**

Clase Adenophorea

Orden Araeolaimida

Familia Plectidae

Género Anaplectus

Género Plectus

## **Phylum Rotifera**

Clase Eurotatoria

Orden Ploimida

Familia Lecanidae

Género Lecane

Familia Notommatidae

Género Cephalodella

Familia Trichocercidae

Género Trichocerca

## **Phylum Amoebozoa**

Clase Archamoebae

Orden Pelobiontida

Familia Pelomyxidae

Género Pelomyxa

Clase Discosea

Orden Thecamoebida

Familia Thecamoeba

Género Thecamoeba

Clase Tubulinea

Orden Arcellinida

Familia Centropyxidae

Género Centropyxis

Orden Euamoebida

Familia Amoebidae

Género Chaos

## **Phylum Ciliophora**

Clase Oligohymenophorea

Orden Peniculida

Familia Frontoniidae

Género Frontonia

Orden Sessilida

Familia Vorticellidae

Género Vorticella

Clase Ciliatea

Orden Hymenostomatida

Familia Tetrahymenidae

Género Colpidium

## **Phylum Arthropoda**

Clase Ostracoda

Orden Podocopida

Familia Cyprididae

Género Cypricercus

Tabla 2  
*Abundancia (N) (células /mL) y abundancia relativa (N%) de las comunidades perifíticas durante los cinco meses de muestreo.*

MES	DICIEMBRE		ENERO		FEBRERO	
	N	N%	N	N%	N	N%
Bacillariophyta	276	42,33 %	609	57,02 %	1285	82,74 %
Cyanophyta	193	29,60 %	302	28,28 %	95	6,12 %
Chlorophyta	60	9,20 %	84	7,87 %	99	6,37 %
Euglenophyta	13	1,99 %	14	1,31 %	3	0,19 %
cryptophyta	6	0,92 %	1	0,09 %	2	0,13 %
Amoebozoa	35	5,37 %	4	0,37 %	10	0,64 %
Rotifera	41	6,29 %	19	1,78 %	19	1,22 %
nematoda	13	1,99 %	14	1,31 %	15	0,97 %
Ciliophora	9	1,38 %	11	1,03 %	19	1,22 %
Arthropoda	6	0,92 %	10	0,94 %	6	0,39 %

MES	MARZO		ABRIL		$\bar{X}$	
	N	N%	N	N%	N	N%
Bacillariophyta	774	64,82 %	1397	71,06 %	868	63,60 %
Cyanophyta	263	22,03 %	331	16,84 %	237	20,57 %
Chlorophyta	46	3,85 %	141	7,17 %	86	6,89 %
Euglenophyta	14	1,17 %	29	1,48 %	15	1,23 %
cryptophyta	6	0,50 %	0	0,00 %	3	0,33 %
Amoebozoa	33	2,76 %	12	0,61 %	19	1,95 %
Rotifera	22	1,84 %	24	1,22 %	25	2,47 %
nematoda	10	0,84 %	26	1,32 %	16	1,29 %
Ciliophora	24	2,01 %	6	0,31 %	14	1,19 %
Arthropoda	2	0,17 %	0	0,00 %	5	0,48 %

Fuente: Elaboración propia

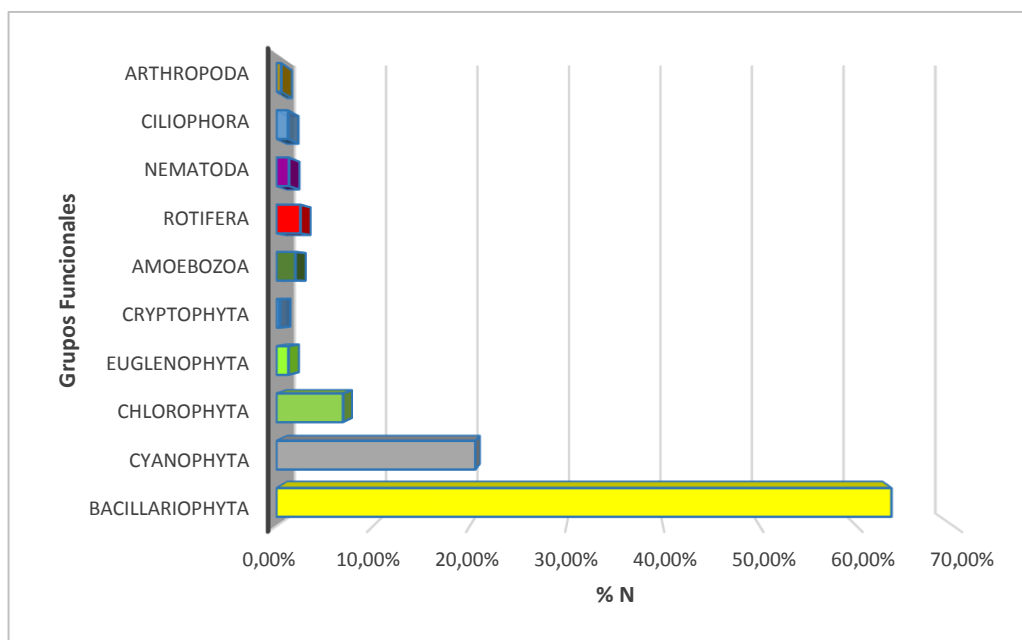


Figura 12 Abundancia Relativa durante los cinco meses de muestreo en el embalse Cerro Blanco

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 y la Figura 12 se observa los grupos funcionales más abundantes en todos los meses de evaluación, siendo el grupo Bacillariophyta (63,6 %) el más abundante seguido de Cyanophyta (20,57 %), el grupo Chlorophyta (6,89 %) y en último lugar Arthropoda (0,48 %). Al igual en la Figura 3 se observa el comportamiento de las comunidades periféricas a lo largo de los meses de muestreo.

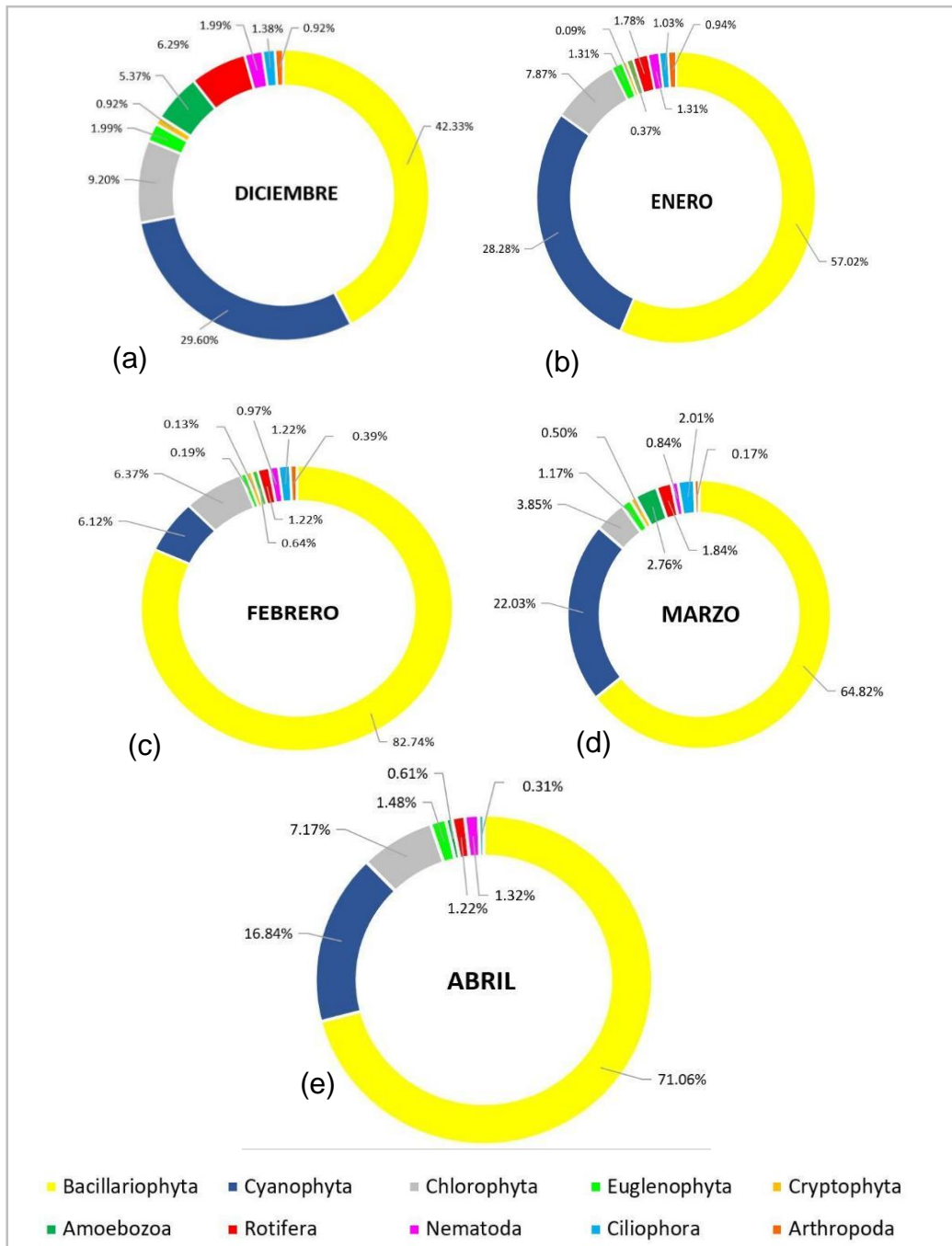


Figura 13 Abundancia relativa (N%) de las comunidades perifíticas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3  
*Especies más abundantes presentes durante los meses de muestreo*

<b>GRUPO TAXONÓMICO</b>	<b>ESPECIES</b>	<b>TOTAL DE ORGANISMOS</b>
Bacillariophyta	<i>Epihemia turgida</i>	483
Cyanophyta	<i>Anabaena oscillarioide</i>	462
Bacillariophyta	<i>Navicola viridula</i>	422
	<i>Diatoma sp1</i>	285
	<i>Cymbella minuta</i>	277
	<i>Cocconeis placentula</i>	174
	<i>Navicola mutica</i>	171
	<i>Melosira sp1</i>	162
	<i>Epihemia zebra</i>	156
Cyanophyta	<i>Oscillatoria sp1</i>	141
Bacillariophyta	<i>Navicola cuspidata</i>	139
	<i>Cymbella cymbiformis</i>	138
	<i>Frustulia rhomboides</i>	114
	<i>Cymbella aspera</i>	105
	<i>Amphora sp</i>	103
Rotifera	<i>Lecane sp</i>	101

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 3 y en la Figura 13 se plasma las Taxas con mayor presencia durante los cinco meses de muestreo fueron: *Ephithemia turgida* con un total de 483 individuos del grupo taxonómico

Bacillariophyta, seguido de *Anabaena oscillarioide* con 462 de Cyanophyta, *Navicola viridula* con 422 especies, indicando que estas especies presentan mayor adaptabilidad a las condiciones del embalse posiblemente.

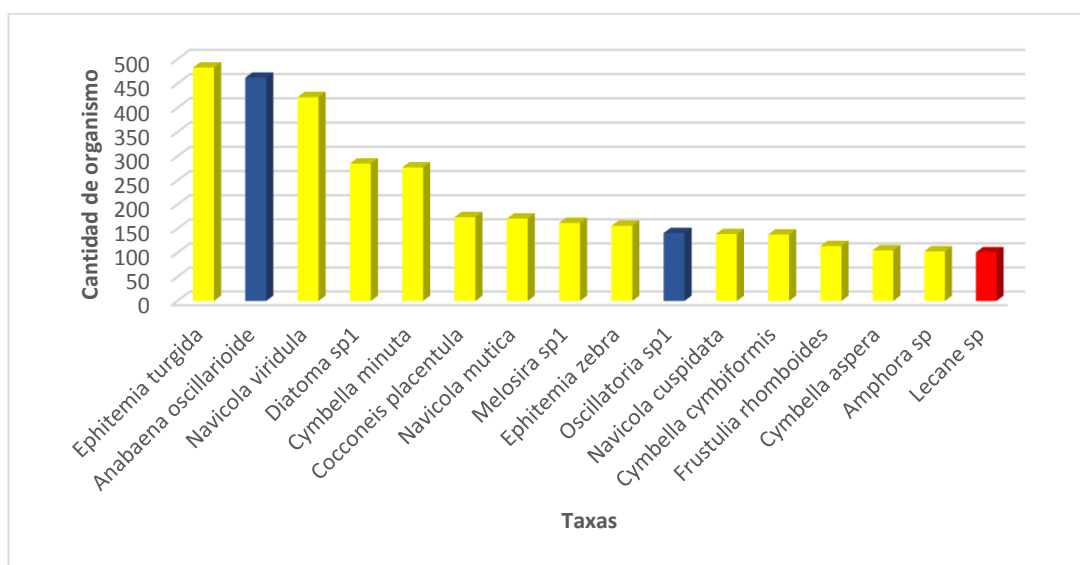


Figura 14

Taxas más abundantes durante los cinco meses de muestreo en el embalse Cerro Blanco.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14 se observan las primeras dieciséis taxas que presentan mayor abundancia durante el estudio en el embalse Cerro Blanco. El color amarillo representa al grupo taxonómico Bacillariophyta, el azul a los Cyanophyta y el color rojo a Rotífera.

Tabla 4  
*Índices de diversidad por puntos de muestreo desde diciembre hasta abril*

ÍNDICES	DICIEMBRE					ENERO				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
<b>Taxa_S</b>	36	37	36	13	4	34	30	30	27	25
<b>Individuals</b>	91	287	213	52	9	358	266	201	129	114
<b>Simpson</b>	0,967	0,84	0,87	0,91	0,69	0,9	0,81	0,91	0,86	0,75
<b>Shannon_H</b>	3,5	2,59	2,71	2,45	1,27	2,74	2,32	2,8	2,62	2,2
<b>Menhinick</b>	3,774	2,18	2,47	1,8	1,33	1,8	1,84	2,12	2,38	2,34
<b>Margalef</b>	7,759	6,36	6,53	3,04	1,37	5,61	5,19	5,47	5,35	5,07

INDICES	FEBRERO					MARZO				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
<b>Taxa_S</b>	27	24	30	28	29	29	30	27	34	33
<b>Individuals</b>	327	445	478	127	176	241	238	295	238	182
<b>Simpson</b>	0,84	0,88	0,88	0,93	0,8	0,94	0,95	0,91	0,93	0,89
<b>Shannon_H</b>	2,47	2,55	2,62	2,95	2,36	3,08	3,17	2,73	3	2,74
<b>Menhinick</b>	1,49	1,14	1,37	2,49	2,19	1,87	1,95	1,57	2,2	2,45
<b>Margalef</b>	4,49	3,77	4,7	5,57	5,42	5,11	5,3	4,57	6,03	6,15

(Continua...)

(Continua ...)

INDICES	ABRIL				
	P1	P2	P3	P4	P5
<b>Taxa_S</b>	40	39	45	50	30
<b>Individuals</b>	417	369	519	459	202
<b>Simpson</b>	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92
<b>Shannon_H</b>	3,36	3,26	3,24	3,14	2,94
<b>Menhinick</b>	1,96	2,03	1,98	2,33	2,11
<b>Margalef</b>	6,46	6,43	7,04	8	5,46

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se observan los valores de diversidad estimados para la comunidad perifítica del embalse Cerro Blanco. El mayor índice de Shannon se registró en el mes de diciembre. A continuación, el índice de Simpson nos hace referencia a que todas las poblaciones de perifiton están distribuidas y representadas en época de estiaje, pero no en lluvia (enero y febrero).

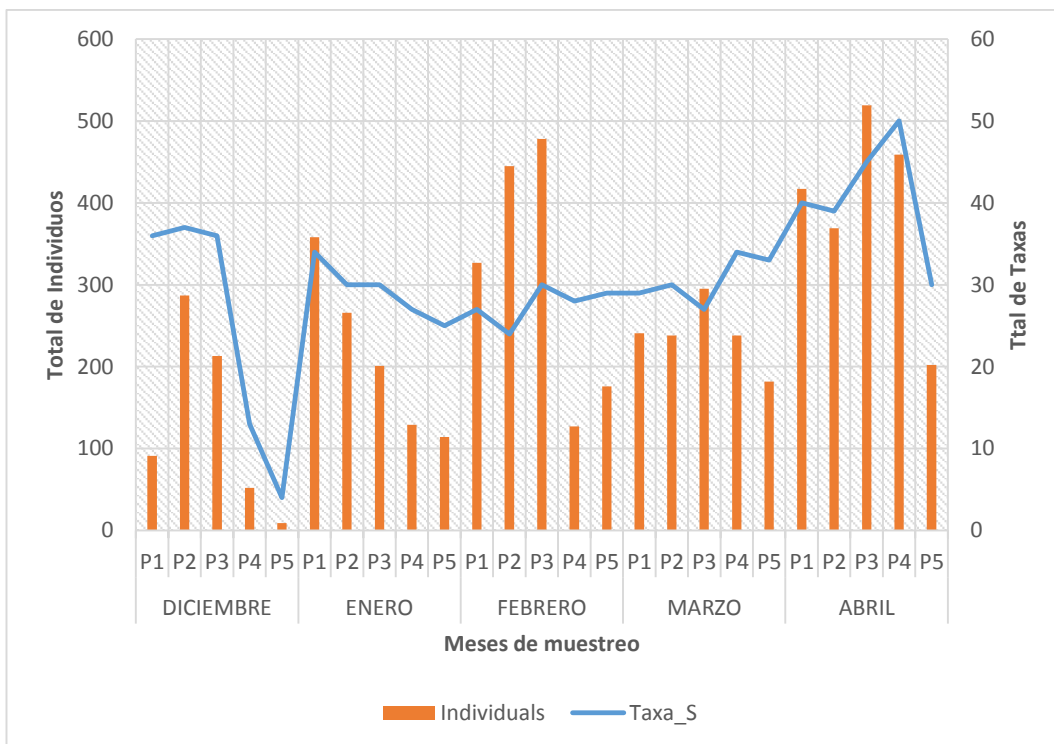


Figura 15 Comparación entre el total de Individuos con el total de Taxas durante los cinco meses de estudio.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 15 representa el número de individuos y el número de especies presentes en el embalse Cerro Blanco durante los meses de evaluación. Se puede observar que existe una alta diversidad mas no una abundancia de especies.

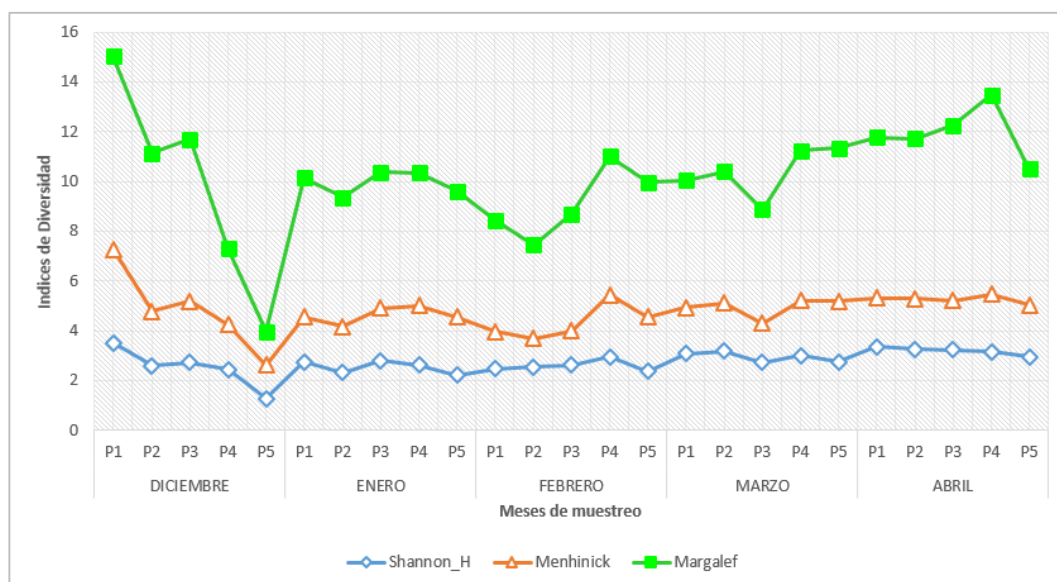


Figura 16 Índices de diversidad (Shannon, Menhinick y Margalef) durante los cinco meses de muestreo

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16 se muestran tres índices de diversidad alfa: Shannon, Menhinick y Margalef, observándose puntos de mayor diversidad de especies como se ve en el punto 1 del mes diciembre, el primer índice indica una mayor diversidad de especies en la población, en el índice de Menhinick se puede observar que los valores del índice para las poblaciones son próximos a cero, esto indica que el número de individuos es grande y en cuanto al índice de Margalef menciona que el área de evaluación es más rica en especies.

Tabla 5  
*Índice Biológico de Contaminación BIP (Biological Index of pollution)*

	<b>IP</b>	<b>Descripción</b>
<b>DICIEMBRE</b>	16,03053	Zona de descomposición activa
<b>ENERO</b>	5,60748	Zona de moderada descomposición
<b>FEBRERO</b>	4,51613	Zona de moderada descomposición
<b>MARZO</b>	7,11297	Zona de moderada descomposición
<b>ABRIL</b>	3,80711	Zona de moderada descomposición

**Fuente:** Elaboración propia

En la Tabla 5 se plasma el Índice Biológico de Contaminación (Biological Index of Pollution), el cual representa la cantidad de organismos productores (algas) y organismos consumidores (protozoos) que están presentes en el medio acuático obteniéndose en el mes de diciembre un valor de 16,03 que lo designa como una zona de descomposición activa, por el contrario de los siguientes meses que son consideradas como zonas de moderada descomposición.

**Tabla 6**  
**Correlación de las comunidades perifíticas con las variables fisicoquímicas con un nivel de  $p \leq 0,05$  del embalse**

	Bacillario	Cyano	Chloro	Eugleno	Crypto	Amoebozoa	Rotifera	Nematoda	Ciliophora	Arthropoda	pH	T°	Conduct	TDS	TURBIDEZ	SULFATOS	NITRATOS	FOSFATOS
Bacillario																		
Cyano	0.028592																	
Chloro	0.79629	0.20675																
Eugleno	0.20102	0.85932	0.32911															
Crypto	-0.6657	-0.10735	-0.82447	0.050252														
Amoebozoa	-0.49493	-0.075734	-0.66337	0.19462	0.96825													
Rotifera	-0.4589	-0.081884	-0.075479	0.20101	0.45833	0.52447												
Nematoda	0.762	0.45911	0.96073	0.56183	-0.74536	-0.57735	-0.093169											
Ciliophora	0.041251	-0.61469	-0.51673	-0.83597	0.27217	0.19784	-0.52732	-0.60858										
Arthropoda	-0.44683	-0.18882	-0.12923	-0.58216	-0.32733	-0.52822	-0.081832	-0.24398	-0.089067									
pH	-0.58882	0.73651	-0.38689	0.65503	0.52735	0.49315	0.36283	-0.15118	-0.4729	-0.12098								
T°	-0.12425	-0.12664	-0.68862	-0.13436	0.58729	0.53435	-0.42866	-0.61372	0.80844	-0.39027	0.086435							
Conduct	0.50089	0.19034	0.098067	-0.057948	-0.4183	-0.45975	-0.98781	0.15168	0.48231	-0.048107	-0.27562	0.46433						
TDS	0.70805	0.38735	0.38993	0.23927	-0.54554	-0.50748	-0.88027	0.47849	0.21289	-0.24266	-0.21814	0.26465	0.83036					
TURBIDEZ	0.68405	-0.68377	0.3448	-0.5371	-0.41765	-0.35081	-0.43629	0.14761	0.58598	-0.12473	-0.96189	0.1169	0.38142	0.34158				
SULFATOS	-0.21034	-0.094719	-0.39141	-0.55925	-0.18682	-0.40053	-0.73058	-0.41773	0.51208	0.62897	-0.15626	0.36128	0.64764	0.36181	0.096959			
NITRATOS	0.83682	0.55678	0.73876	0.67838	-0.51723	-0.34055	-0.36206	0.85585	-0.28506	-0.57563	-0.054552	-0.12181	0.46863	0.75643	0.18549	-0.31265		
FOSFATOS	-0.033399	-0.40484	0.32689	-0.59216	-0.6001	-0.68669	0.054554	0.12199	-0.20045	0.82143	-0.50457	-0.69456	-0.18688	-0.25187	0.24997	0.2577	-0.3386	
ARSENICO	0.11589	0.62116	-0.1256	0.79007	0.43997	0.55041	-0.026282	0.11318	-0.052455	-0.81311	0.59818	0.49309	0.17537	0.32307	-0.36321	-0.34509	0.51293	-0.95967

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se plasma el análisis de correlación de Pearson con  $p \leq 0,05$ , pone de manifiesto que las Bacillariophyta y Rotifera presentan asociación significativa con los fosfatos con una significancia de -0,033 y 0,054 respectivamente, las Euglenophyta y Arthropoda con la conductividad con una significancia de -0,057 y -0,048 y por último, los Ciliophora con el arsénico con una significancia de -0,052.

## V. DISCUSIÓN

El embalse Cerro Blanco presentó una elevada diversidad de ficoperifiton en comparación al zooperifiton que presenta valores de diversidad bajos. Según Moschini-Carlos (1996), la composición y la abundancia de algas perifíticas son el resultado de factores abióticos, como la temperatura, la luz y los nutrientes. Estos organismos son, por lo tanto, muy sensibles a las modificaciones sistémicas en la calidad del agua y la hidrodinámica. Según Jöbgen et al (2004), el conocimiento de las características cuantitativas del perifiton es importante porque es necesario para la evaluación de los efectos reales del periphyton en los procesos de autodepuración en los cuerpos de agua. Moreno (1989), trabajando con sustratos artificiales en tres embalses del Oriente antioqueño, donde la temperatura varía entre 20 y 25 °C, encontró 105 taxones de perifiton, de los cuales 95 eran algas y los demás protozoos, rotíferos y algunas larvas de insectos.

Se encontró mayor diversidad en el grupo taxonómico Bacilliarophyta diferencia de las Euglenophytas, muchos autores concuerdan en que las especies pertenecientes a Euglenophyta son muy comunes en sistemas con una, alta carga de materia orgánica (Ramírez, 2000; Pinilla, 2010; Vásquez et al., 2006). No obstante, Ramírez (2000) afirma que la presencia

de esta clase de especies no solo se ve influenciada por la cantidad de materia orgánica, sino también por la estratificación y estabilidad de la columna de agua. De esta manera, las euglenophytas prosperan mejor en aguas estables y sapróbicas. Moreno (2001), medir la abundancia relativa de cada especie permite identificar aquellas especies que por su escasa representatividad en la comunidad son más sensibles a las perturbaciones ambientales.

En cuanto a los parámetros físico-químicos, el pH presentó un comportamiento ligeramente básico, según Roldán (2008) el pH básico es donde mejor se desarrollan las comunidades de perifiton, ya que bajo estas condiciones los nutrientes están más disponibles, al igual que los carbonatos y bicarbonatos.

La temperatura no presentó mucha variación, observándose ligeras bajas durante los meses de enero y abril. Roldán (2008) hace mención que, en zonas templadas, este factor crea ciclos muy marcados de productividad, siendo alta durante primavera, verano y otoño, pero muy baja en invierno.

El nitrógeno y el fósforo son factores limitantes en casi todos los ecosistemas acuáticos continentales, aunque de los dos, el fósforo se considera como el más importante y limitante. Según Ramírez y Machado

(1982) el fósforo es el responsable directo de la eutrofización en lagos, embalses y humedales.

Según Sanders (1979) citado por Rodriguez (2014), se sabe que el arseniato (As(V)) es un análogo químico del fosfato, por esto, su presencia en los organismos interfiere con muchas reacciones enzimáticas que involucran al nutriente.

El principal efecto que tiene el As sobre las algas es el desacople de la fotofosforilación oxidativa (Krogmann et al, 1959), aunque otro efecto importante es la sustitución del P presente en los fosfolípidos de la membrana plasmática y de los liposomas, haciendo que esta sea más fluida (Tuan et al., 2008). El efecto del arsénico (V) sobre el perifiton más importante a nivel ecológico parece ser la inhibición de la fotosíntesis (Blanck & Wangberg, 1988). El mecanismo que genera esa toxicidad podría ser una competencia con el  $\text{PO}_4^{3-}$  en la formación de ADP-arseniato (Krogmann et al, 1959).

Rodriguez (2014) concluye que la exposición crónica de las comunidades a concentraciones de arsénico ecológicamente representativas dañaría a las comunidades perifíticas, afectando un proceso ecosistémico clave, la retención de nutrientes. Ticona (2012) demuestra la existencia de un nivel elevado de contaminación con arsénico

del agua potable de la ciudad de Tacna en más de cinco veces el valor permitido por la OMS y la legislación peruana y su posible relación con los tipos histológicos de los cánceres diagnosticados en EsSalud Tacna 2010-2011.

Moschini-Carlos y Henry (1997), trabajando con sustratos naturales y artificiales en el embalse de Jurumirim (SP) y utilizando el índice autotrófico y el índice de Lakatos como índices de clasificación, caracterizaron el periphyton como heterotrófico-autotrófico. También Lee et al (2013) realiza un estudio en el río Anyang usando el BIP encontrando afluentes con buena calidad de agua, a diferencia en el embalse que presenta una zona de moderada descomposición debido a los organismos consumidores y productores presentes en el embalse, sin embargo estas aguas son tratadas en la Planta Calana para su uso poblacional (Memoria descriptiva EPSTacna, 2004).

## VI. CONCLUSIONES

Se evaluaron los parámetros físico-químicos del embalse Cerro Blanco Calana, obteniéndose resultados en la mayoría por debajo de los LMP, a excepción del arsénico presentando una relación de sensibilidad con las distintas comunidades de perifiton Bacillariophyta, Euglenophyta, Rotifera, Arthropoda y Ciliophora.

Se identificaron las comunidades perifíticas del embalse Cerro Blanco en Calana, encontrando 128 especies, siendo el grupo dominante la división Bacillariophyta con un total de 68 especies distribuidas en 13 órdenes, 21 familias, 28 géneros y las especies más abundantes fueron *Ephitemia turgida* con 483 individuos, seguida de *Anabaena oscillarioide* con 462 individuos y *Navicola viridula* con 422 individuos.

Se caracterizó el tipo de agua según el Índice Biológico de Contaminación (BIP), encontrando que en el mes de diciembre los organismos presentes se encuentran en una zona de descomposición activa, a diferencia de los demás meses en que se presenta en una zona de moderada descomposición.

Se concluye que de las diferentes comunidades perifíticas sobresalen las Bacillariophyta conocidas como elementos definitorios y/o

complementarios en la determinación de la calidad biológica de ambientes dulceacuícolas como es en el caso del embalse Cerro Blanco.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Es importante monitorear de manera mensual debido a la colonización de las comunidades perifíticas, a fin de llevar un control de una posible sobrepoblación.

Para futuros estudios, se recomienda realizar mayor número de muestreo dependiendo de la profundidad del embalse, con el fin de observar el cambio de espacio temporal a lo largo y profundo del embalse Cerro Blanco localizado en Calana, Tacna.

Según los resultados obtenidos se observa que los embalses evaluados son víctimas de contaminación ambiental por diferentes fuentes, tales como de materia orgánica por parte de las aves que se encontraron con mayor frecuencia en febrero, marzo y abril, por lo tanto, se recomienda seguir monitoreando los cambios que presentan en cuanto a la presencia y abundancia de comunidades perifíticas, con el fin de plantear una metodología de limpieza o el uso de controladores biológicos (peces) a fin de disminuir la presencia de algas.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acleto, C. (1966). *Algas de agua dulce de las Cascadas de Barranco*. Publicaciones del Museo de Historia Natural "Javier Prado", Universidad Nacional Mayor de San Marcos, serie B, n°21, pp. 1-65.
- Acosta, N., Consuegra, F. & Díaz, Y. (2005). *Composición de la comunidad fitoplanctonica y su relación con los parámetros físicos, químicos y fisicoquímicos en el embalse del Guájaro Atlántico-Colombia*, pp. 26-40. (Trabajo de grado). Universidad del Atlántico.
- Aguilar, Maria (2012). *Estudio biosistemático y ecológico en eumycetozoa (amoebozoa): protostélidos y myxomycetes*. Memoria de tesis doctoral, Madrid, España.
- Allan, J.D. (1995). *Stream ecology*. Chapman & Hall (p.388). London.
- Andreu E, Camacho A. (2002). *Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar*. Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Secretaria General del Medio Ambiente (p. 226). Madrid, España.
- APHA-AWWA-WEF (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Edition (p. 1368).

Austin, A., & J. Deniseger. (1985). *Periphyton community changes along a heavy metals gradient in a long narrow lake*. Environ. Exp. Botany, 25(1): 41-52.

Barrenechea M., Ada (2004). *Coagulación, Química* on line, (pp. 152-224): <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>. Perú.

Bartram, J. & Balance, R. (1996). (Ed.) *Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programme*. Published on behalf of UNDP & WHO Chapman & Hall, (p. 383). London.

Battarbee R.W., Jones V.J., Flower R.J., Cameron N.G., Bennion H., Carvalho L., Juggins S. (2001) *Diatoms. In: Tracking environmental change using lake sediments* Vol 3: Terrestrial, algal and siliceous indicators. (eds Smol JP, Birks HJB, Last W), (pp 155-202). Dordrecht, Kluwer.

Bellinger E & Sigeo D. (2010). *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. 1st ed. Editorial John Wiley & Sons, (p. 244).

Blanck, H., & Wängberg, S.A. (1988). Validity of an ecotoxicological test system: Short-term and long-term effects of arsenate on marine

periphyton communities in laboratory systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45, 1807–1815.

Bonilla, S. (Ed). (2009). *Cianobacterias planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Uruguay: Programa Hidrológico Internacional.*

Carrasco O, G.I. (2015). *Evaluación de la calidad del agua en Gamboa y Paraiso del embalse Gatún, en la Cuenca Hidrográfica del canal de Panamá.* Universidad de Salamanca. Trabajo Fin de Máster

Casco, M. A. (1990). *El perifiton del embalse de La Minilla. Relaciones con el fitoplancton y contribución a la producción total.* (Tesis Doctoral). Univ. Sevilla, (p. 373).

Cavalier-Smith t. (1998). *A revised sixkingdom system of life.* *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society.*

CIESE (2006). *Center of Innovation in Engineering and Science Education, Stevens of Technology.* Libreta de Campo para las Pruebas de las Muestras de agua. Disponible en: <http://www.k12science.org/curriculum/dipproj2/es/fieldbook/index.html> (acceso: 05 de diciembre del 2016)

Consejería de Medio Ambiente (2010). *Junta de Andalucía. Atlas de Organismos Planctónicos en los humedales de Andalucía.*

Disponible en:  
[https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal\\_web/rediam/contenidos\\_ordenacion/PDF/Atlas\\_Org\\_Planctonicos\\_1.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/rediam/contenidos_ordenacion/PDF/Atlas_Org_Planctonicos_1.pdf)

Cussi R., (2008). *Evaluación de protozoarios patógenos en los embalses de cerro Blanco de la Empresa Prestadora de Servicios de Tacna*, de octubre del 2006 a marzo del 2007.

De La Lanza, E.G., P.S. Hernández & P.J.L. Carvajal (2000). *Organismos Indicadores de la calidad del agua de la contaminación (Bioindicadores)*. Ed. Plaza y Valdés, México, p.633.

Delgadillo I & Góngora F. (2008). *Introducción al estudio de las microalgas. Ficoteca (Colección de Microalgas)*, Departamento de Biología. Universidad Pedagógica Nacional.

Domis, L. N. S., Mooij, W. M. & Huisman, J. (2007). *Climate-induced shifts in an experimental phytoplankton community: a mechanistic approach*. *Hydrobiologia*, 584, 403-413.

Donato J. Ch, González L.E, Rodríguez C.L. (1996). *Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras No.9 (p. 168). Bogotá, D.C Colombia.

- Ekwu, A. O., & Sikoki, F. D. (2006). *Phytoplankton Diversity in the Cross River Estuary of Nigeria*. J. Appl. Sci. Environ. Mgt., 10, (1), 89 – 95.
- Empresa Prestadora de Servicios (EPS) – TACNA S.A. (2014). *Memoria Descriptiva del Terreno*. Embalse Cerro Blanco.
- Environment Canada, 2012. *Metal Mining Environmental Effects Monitoring (EEM) Technical Guidance Document*. 550.
- Estévez, F. (1998). *Fundamentos de Limnología*. Editora intercencias Ltda. Brasil, p.575.
- Follet, R. (2001). *Nitrogen transformation and transport processes*. Elsevier Science, pp. 17-44.
- Gállego J. (1968). *Atlas de Parasitología*, pp. 8 Ed. Jóven, S.A. España.
- Gonzalo, I. (2015). *Evaluación de la calidad del agua en Gamboa y Paraíso del Embalse Gatún, en la cuenca hidrográfica del canal de Panamá*, tesis, Universidad de Salamanca, Máster en Análisis Avanzado de Datos Multivariantes. Trabajo Fin de Máster
- Goyenola, G. (2007). *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos*. Disponible de [http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007 /cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007 /cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf)

Guevara, M. (2000) *Embalses en estructuras hidráulicas*. Disponible en:  
[http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/intro\\_obras.pdf](http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/intro_obras.pdf). Accedida  
el 15/12/16.

Hammer, Harper DAT, Ryan PD. (2001). *PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis*. *Paleontological Electronica* 4(1): p. 9, [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).

Hillbricht-Ilkowska, A. (1972). *Field experiment on the factors controlling primary production of the lake plankton and periphyton*. *Ekol. Polska*, 20(25): 315-326.

Horasawa I. (1942). *A preliminary report on the biological index of wáter pollution*. *Zool.Mag. (Tokyo)* 54:37-38.

Hynes, H. (1970). *The Ecology of Running Waters*. Toronto: University of Toronto.

Jöbgen A., PAIM A., MelkonIAN M. (2004). *Phosphorus removal from eutrophic lakes using periphyton on submerged artificial substrata*. *Hydrobiologia*, 528 (1-3), 123.

Jozwiak, T., Mazur-Marzec, H., & Plinski, M. (2008). *Cyanobacterial blooms in the Gulf of Gdan'sk (southern Baltic): The main effect of*

*eutrophication*. Oceanological and Hydrobiological Studies, 37, 115-121.

Kairesalo, T., I. Koskimies, R.A. Letovaa & I. Vähä-Piikö, (1985). *Consequences of fertilization within a littoral Equisetum Fluvatile L. stand in lake Pääjärvi, Southern Finland*. Verh. Internat. Verein Limnol., 22(5): 2904-2908.

Krogmann, D. W., Jagendorf, A. T., & Avron, M. (1959). Uncouplers of spinach chloroplast photosynthetic phosphorylation. Plant Physiology, 34(3), 272–277.

Laws, A. E. (1981). *Aquatic Pollution*. Wiley Interscience Publication (p. 482). E.U.A.

Lee, Y., Hong, C. and Lim, K. (2013) Analysis of Seasonal Water Pollution According to the Reuse and Treatment of Wastewater from Anyang Stream. Daelim University. Corea.

Lopretto, E. C. y G. Tell (1995). *Ecosistemas de aguas continentales*. Métodos para su estudio, Tomos I, II y III. Ediciones Sur, p.1401 ISBN 950-9715-31-X.

Luján, A. (2000). *Las algas, indicadores de la calidad del agua*. Interciencia. UNRC, Río Cuarto, 4(4). Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Ciencias Naturales, UNRC.

- Marcus, D. M. (1980). *Periphytic community response to chronic nutrient enrichment by a reservoir discharge*. Ecology, 61(2): 387-399.
- Margalef. (1983). *Limnología*. Primera edición. Barcelona: Ediciones Omega, S. A. Capítulo 8.
- Marshall, K. (1984). *Microbial adhesion and aggregation*. Dahlem Konferenzen 1984 (p. 426). Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer. Verlag.
- Mcquatters-Gollop, A., Gilbert, A., Mee, L., Vermaat, J.E., Artioli, Y., Humborg, C. H. & Wulff, F. (2009). *How well do ecosystem indicators communicate the effects of anthropogenic eutrophication?*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 82, 583–596.
- Mendoza C. (2015). *Diversidad de algas (excepto Bacillariophyceae) asociadas a macrófitas en la laguna el Oconal, Villa Rica, Oxapampa, Pasco, durante la época de transición vaciante – creciente*. Tesis para título profesional, UNSM.
- Montoya, Y. & Ramirez J. (2007). *Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de rital del río Medellín, Colombia*. Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 55 (2): pp. 585-593, June 2007.

- Montoya Moreno, Y. y N. Aguirre R. (2013). *Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia*. Revista Gestión y Ambiente 16 (3): 91-117.
- Moreira, J.A. (1988). *Productividade primaria do periphyton em viveiros destinados a piscicultura*. Dissertação do Mestrado, Univ. Federal de Bahia (p. 250), Bahía, Brasil.
- Moreno, C.E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Manuales y Tesis SEA. Sociedad Entomológica Aragonesa (p. 80). Ed. Madrid, España.
- Moreno, L. (1989). *Colonización del perifiton en tres embalses del oriente Antioqueño*. Tesis de pregrado (Biología), Universidad de Antioquia, (p. 130). Medellín.
- Moschini-Carlos, V. (1996). *Dinâmica e estrutura da comunidade perifítica (substrato natural e artificial) na zona de desembocadura do rio Paranapanema, Represa de Jurumirim, SP*. Tese de Doutorado (p. 173), UFSCar.
- Moschini-Carlos, V. & Henry, R. (1997). *Aplicação de índices para a classificação do perifiton em substratos natural e artificial, na zona de desembocadura do rio Paranapanema (Represa de Jurumirim), SP*. Rev. Brasil. Biol., 57(4): 655-663.

Municipal Environmental Research Laboratory.(1977). *Algae and Water Pollution* EPA/600/9-77/036.

Namihira-S P, Barrera-E G, Márquez-G A. (2002). *Contaminación por bacterias fecales en el Lago Huayamilpas, México D.F.* Hidrobiológica. 12 (2): 129- 136 p.

Paerl, H. W., & Huisman, J. (2008). *Blooms Like It Hot.* Science, 320 (pp. 57-58).

Parra O., González M., Dellarossa V., Rivera P. & Orellana M. (1982). *Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales con especial referencia al fitoplancton de Chile.* I: Cyanophyceae, II: Chrysophyceae, III: Cryptophyceae, IV: Bacilliarophyceae, V: Chlorophyceae.

Pérez, A. (2004). *Aspectos Conceptuales, Análisis Numérico y Publicación de Datos sobre Biodiversidad. Nicaragua.* NI, Edición e impresión FORCON (p. 338).

Pérez, R, Pineda, R & Medina, M. (2007). *Integridad biótica de ambientes acuáticos. Primera edición. Instituto Nacional de Ecología* (p. 83). México.

- Pinilla G. (2000). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Compilación bibliográfica*. Centro de Investigaciones Científicas (p. 67). Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Ramírez J & Machado T. (1982). Influencia de la Precipitación y los Ortofosfatos sobre el Fitoplancton de la Represa “La Fe”. *Actualidades Biológicas* 11(39): 3-21.
- Ramírez J. 2000. *Fitoplancton de Agua Dulce: Aspectos Ecológicos, Taxonómicos y Sanitarios*. 1 ed. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. Pp 207.
- Reynolds, C. S. (2006). *Ecology of phytoplankton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rodrigues, L., J. Zanon, L. Carapurnala y S. Biolo. (2008). *Perifiton en A Planície Alagável do Rio Paraná: estrutura e Processo Ambiental*. Disponible en [http:// www.peld.uem.br/Relat2008/pdf/Capitulo04.pdf](http://www.peld.uem.br/Relat2008/pdf/Capitulo04.pdf). Fecha de acceso: 17 de julio de 2015.
- Rodríguez J.G., Arece J., Olivares J.L., Roque E. (2009). *Origen y evolución de Arthropoda*. *Rev. Salud Anim.* Vol. 31 No. 3, pag. 137-142. 54.
- Roldan P. (1992). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Ciencia y Tecnología. Universidad de Antioquia.

- Rodriguez, M. (2014). *Capacidad de depuración de sustancias bioaprovechables en arroyos de llanura y su relación con el arsénico*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires.
- Roldán, G. & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda Edición. Editorial Universidad de Antioquia (pp. 79-80, 289-300). Medellín. ISBN, 978-958-714-144-3.
- Roldán, P. y J. Ramírez. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda Edición. Universidad de Antioquia, Medellín. 440 pp.
- Rosenberg, D. M. & V. H. Resh (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall. New York, USA. 488 pp.
- Sandgren, C. D. (1888). *Growth and reproductive strategies in freshwater phytoplankton*. Cambridge Univ Press.
- Shannon, C. E. & W. Wiener. (1949). *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana, USA. 117 p.
- Sierra, O. y J. Ramírez. (2000). *Variación espacio - temporal de biopelículas en la represa La Fe, el Retiro, Antioquia (Colombia)*. Actualidades Biológicas 22 (73): 153-168.

- Silva-Oliveira, C. (2007). *Caracterização da comunidade de algas perifíticas em estação de tratamento de água pela técnica de substrato artificial: estudo de caso Eta São Sebastião, Cuiabá-MT*. Tese do Maestrado. Universidade Federal de Mato Grosso. Pág.: 68.
- Sládecková, A. (1962). *Limnological investigation methods for the periphyton ("Aufwuchs") community*. Bot. Rev., 28(2): 286-350.
- Smith, R.L., & Smith, T.M. (2001). *Ecologia*. Madrid: Addison Wesley.
- Stevenson, R.J., M.L.Bothwell & R.L. Lowe. (1996). *Algal Ecology*. Academic Press. California. USA. Pág: 753.
- Sugunan, V. V. (2000). *Ecology and fishery management of reservoirs in India*. Hydrobiologia, 430(1-3): 121-147.
- Terrel, C. & Bytnar, P. (1996). *Water quality indicators guide*. Dubuque: Kendall/Hunt publishing company.
- Toja, J. & M. A. Casco. (1991a). *Contribution of phytoplankton and periphyton to the production in a reservoir of SW Spain*. Ecología aquatica, 10: 61-76.
- Toja, J. y M. A. Casco. (1991b). *Efecto de la fluctuación del nivel del agua sobre la colonización y el desarrollo del perifiton*. Biología aquatica, 15(2): 242-243.

Tuan, L. Q., Huong, T. T. T., Hong, P. T. A., Kawakami, T., Shimanouchi, T., Umakoshi, H., & Kuboi, R. (2008). Arsenic (V) induces a fluidization of algal cell and liposome membranes. *Toxicology in Vitro : An International Journal Published in Association with BIBRA*, 22(6), 1632–8.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural (2014). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú*/Departamento de Limnología, Departamento de Ictiología -- Lima: Ministerio del Ambiente.

Vásquez C, Ariza A & Pinilla G. 2006. Descripción del Estado Trófico de Diez Humedales del Altiplano Cundiboyacense. *Universitas Scientiarum* 11(2): 61-75.

Watanabe, T. (1990). *Perifíton: comparação de metodologías empregadas para caracterizar o nível de poluição das águas*. *Acta. Limnol. Brasil*. 3: 593-615.

Weaver, L.A. & Garman, G.C. (1994). *Urbanization of a watershed and historical changes in a stream fish assemblage*. *Transactions of the American Fisheries Society*, 123: 162-172.

Wetzel, R. (1990). *Clean water: A fading resource*. En: Ilmavirta, V. y R. I.Jones. (Eds.). *The dynamics and use of lacustrine ecosystems*. Develop. Hydrobiol. Junk.

Wetzel, R.G. (1983). *Periphyton of aquatic ecosystem*. B.v. Junk, The Hague, Holanda. Pág.: 346.

## IX. ANEXOS



*Figura 17* Embalses de Cerro Blanco EPS, Calana – Tacna.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 18* Compuerta del embalse Cerro Blanco

Fuente: Elaboración propia



*Figura 19* Embalse E-2 zona de muestreo.

Fuente: Elaboración propia



*Figura 20* Embalse E-1 se encontró vacío por estar en mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7  
Límites Máximos Permisibles de Parámetros de Calidad Organoléptica

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL <sup>-1</sup>	1 000
8. Cloruros	mg Cl <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250
9. Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	250
10. Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	500
11. Amoníaco	mg N L <sup>-1</sup>	1,5
12. Hierro	mg Fe L <sup>-1</sup>	0,3
13. Manganeso	mg Mn L <sup>-1</sup>	0,4
14. Aluminio	mg Al L <sup>-1</sup>	0,2
15. Cobre	mg Cu L <sup>-1</sup>	2,0
16. Zinc	mg Zn L <sup>-1</sup>	3,0
17. Sodio	mg Na L <sup>-1</sup>	200

UCV = Unidad de color verdadero  
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.

Tabla 8  
Límites Máximos Permisibles de Parámetros Químicos Inorgánicos

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0,020
2. Arsénico (nota 1)	mg As L <sup>-1</sup>	0,010
3. Bario	mg Ba L <sup>-1</sup>	0,700
4. Boro	mg B L <sup>-1</sup>	1,500
5. Cadmio	mg Cd L <sup>-1</sup>	0,003
6. Cianuro	mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	0,070
7. Cloro (nota 2)	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0,7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0,7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0,050
11. Flúor	mg F L <sup>-1</sup>	1,000
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
13. Níquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0,020
14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50,00
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0,07
19. Uranio	mg U L <sup>-1</sup>	0,015

Fuente: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-SA.

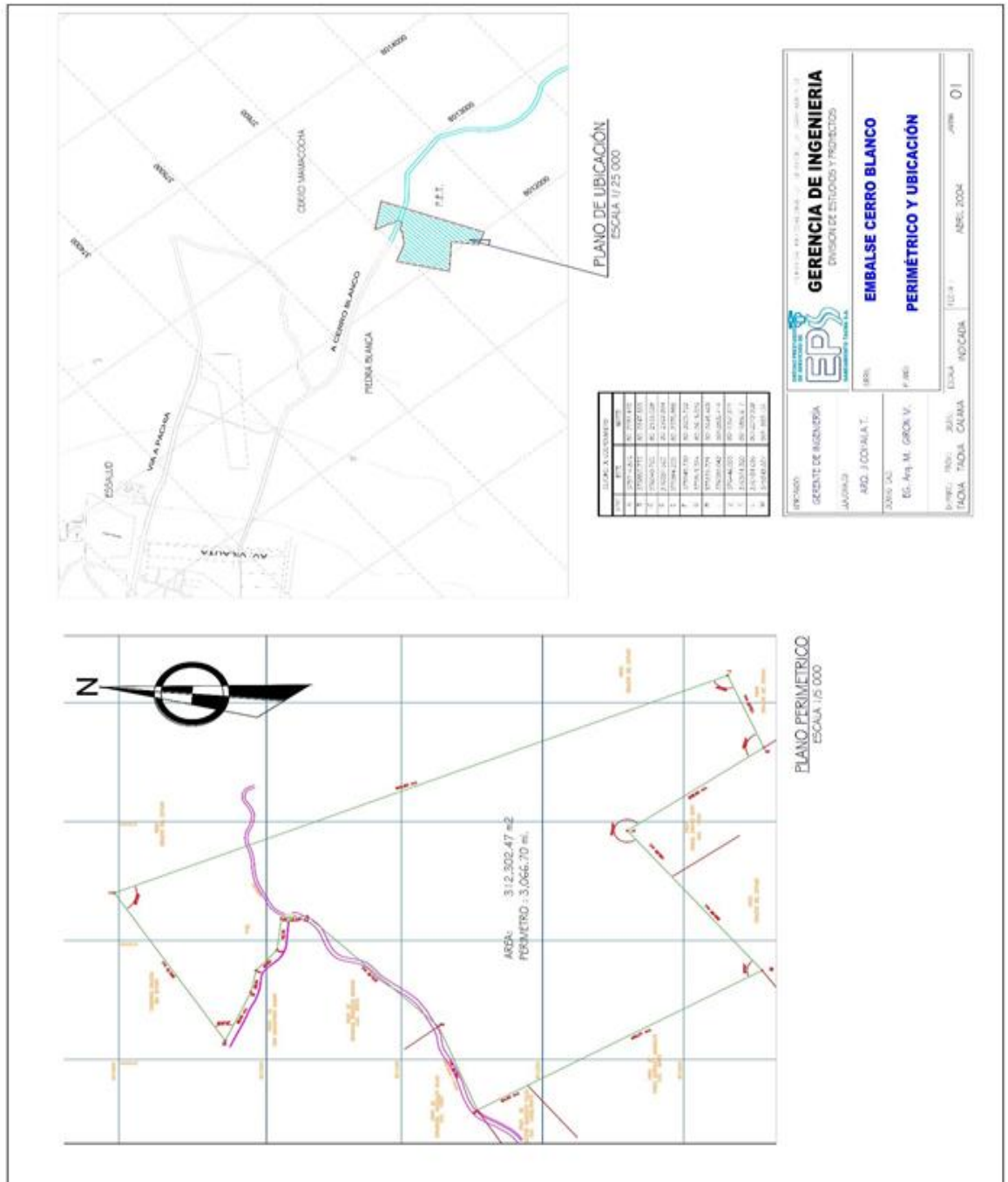
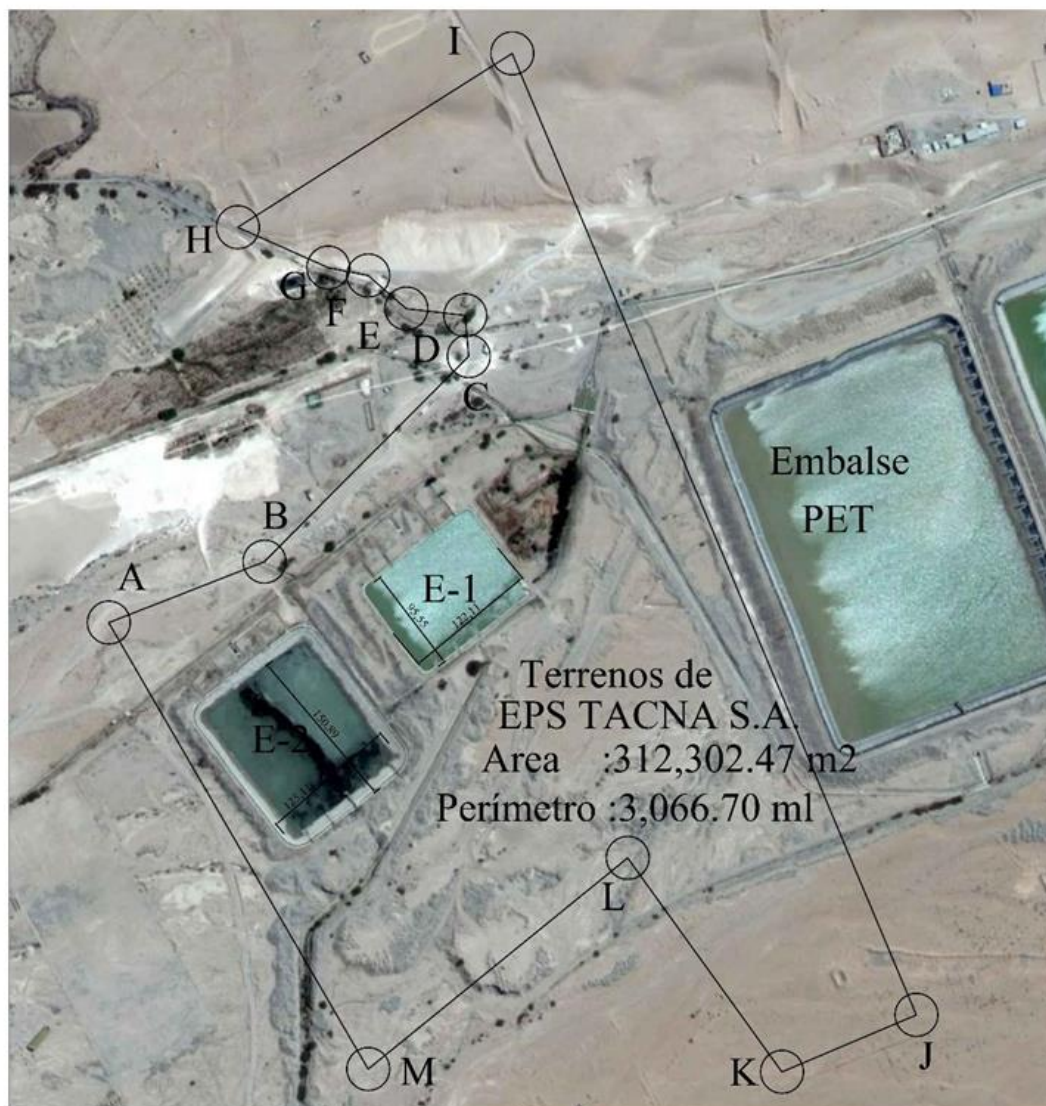


Figura 21 Embalse Cerro Blanco perímetro y ubicación, EPS Tacna.

Fuente: EPS Tacna



Coordenadas UTM					
PSAD 56		WGS 84			
A)	375714.816 E	8012292.420 N	A)	375530.556 E	8011916.096 N
B)	375855.770 E	8012347.353 N	B)	375671.592 E	8011971.101 N
C)	376040.720 E	8012533.028 N	C)	375856.496 E	8012156.739 N
D)	376037.560 E	8012569.894 N	D)	375853.298 E	8012193.569 N
E)	375984.205 E	8012575.998 N	E)	375799.989 E	8012199.651 N
F)	375949.730 E	8012605.722 N	F)	375765.488 E	8012229.422 N
G)	375913.524 E	8012613.026 N	G)	375729.327 E	8012236.719 N
H)	375831.729 E	8012649.463 N	H)	375647.549 E	8012273.163 N
I)	376080.042 E	8012806.414 N	I)	375895.864 E	8012430.097 N
J)	376446.003 E	8011937.871 N	J)	376261.832 E	8011561.614 N
K)	376324.360 E	8011886.617 N	K)	376140.155 E	8011510.277 N
L)	376184.685 E	8012079.938 N	L)	376000.417 E	8011703.606 N
M)	375949.827 E	8011889.131 N	M)	375765.563 E	8011512.784 N

<b>EPS TACNA S.A.</b> ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO Proyecto: "Implementación de la Planta de Aguas Potable Pachita"			
<b>PLANO GENERAL PIEDRAS BLANCAS</b> <b>UBICACION EMBALSES CERRO BLANCO</b>			
PROYECTO:	ESCALA:	FECHA:	PLANO N°:
01	1 / 5,000	Marzo 2014	01
Ing. A. Franco		Econ. D. Almeida	

Figura 22 Plano general Piedras Blancas, ubicación embalses Cerro Blanco, EPS.

Fuente: EPS Tacna

Tabla 9  
Análisis Físico-Químico del embalse Cerro Blanco durante los meses de diciembre 2015 hasta abril 2016.

N°	PARAMETRO	UNIDAD	NORMA DS N° 031- 2010-SA					CAPTACIÓN CERRO BLANCO					
			DIC.	ENE.	FEBR.	MAR.	ABR.	DIC.	ENE.	FEBR.	MAR.	ABR.	
1	pH	und	8.31	8.28	7.84	8.32	8.24	6.5-8.5 (*)	8.31	8.28	7.84	8.32	8.24
2	TURBIDEZ	UNT	4.75	6.21	152	37.2	42.8	5	4.75	6.21	152	37.2	42.8
3	CONDUCTIVIDAD	µmho/cm	530	602	600	610	582	1500	530	602	600	610	582
4	TDS	mg/l	262	298	297	302	288	1000	262	298	297	302	288
5	COLOR	C.V. (UCV escala) Pt/Co	16	28	18	22	20	15	16	28	18	22	20
6	ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO3	70	80	90	100	90		70	80	90	100	90
7	ALCALINIDAD F	mg/l CaCO3	0	0	0	5	0		0	0	0	5	0
8	BICARBONATOS	mg/l HCO3-	85	98	110	110	110		85	98	110	110	110
9	CARBONATOS	mg/l CO3=	0	0	0	6	0		0	0	0	6	0
10	CLORUROS	mg/l Cl-	10	13	14	12	13	250	10	13	14	12	13
11	SULFATOS	mg/l SO4=	190	204	198	198	187	250	190	204	198	198	187
12	NITRATOS	mg/l NO3-	2.14	2.31	2.34	2.38	2.63	45/50	2.14	2.31	2.34	2.38	2.63
13	FOSFATOS	mg/l PO4=	0.13	0.14	0.14	0.1	0.12		0.13	0.14	0.14	0.1	0.12
14	DUREZA TOTAL	mg/l CaCO3	200	220	210	220	210	500	200	220	210	220	210
15	CALCIO	mg/l Ca++	60	65	60	65	60		60	65	60	65	60

Continúa...

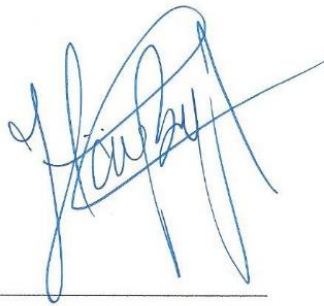
Continúa...

**Tabla 9**  
**Análisis Físico-Químico del embalse Cerro Blanco durante los meses de diciembre 2015 hasta abril 2016.**

N°	PARAMETRO	UNIDAD	NORMA DS N° 031- 2010-SA	CAPTACIÓN CERRO BLANCO				
				DIC.	ENE.	FEBR.	MAR.	ABR.
16	MAGNESIO	mg/l Mg++		12.36	14.19	14.76	14.19	14.76
17	SODIO	mg/l Na+	200	26	32	36	34	32
18	POTASIO	mg/l K+		4.2	5.3	5.9	5.5	5.3
19	ALUMINIO	mg/l Al	0.2	0.003	0.011	0.007	0.01	0.097
20	ARSENICO	mg/l As	0.05 / 0.01	0.129	0.122	0.112	0.168	0.155
21	BORO	mg/l B	1.50	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4
22	CIANURO	mg/l CN	0.070	<0.005	<0.005	<0.005	0.005	0.003
23	COBRE	mg/l Cu	2.000	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
24	HIERRO	mg/l Fe	0.300	0.04	0.04	0.04	0.01	0.09
25	MANGANESO	mg/l Mn	0.400	0.026	0.032	0.032	0.038	0.038
26	TRIHALOMETANOS	mg/l THM	1.000	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
27	ZINC	mg/l Zn	3	0.031	0.026	0.028	0.026	0.043

UCV = Unidad de color verdadero / UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

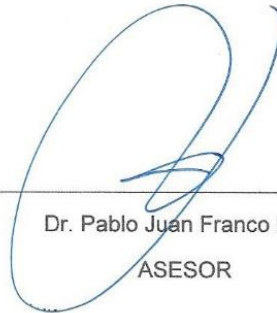
Fuente: EPS-TACNA



---

Bach. Haydeé Blanca Alave Choque

TESISTA



---

Dr. Pablo Juan Franco León

ASESOR