

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ecología y Gestión
Ambiental

Situación de la calidad de agua de la laguna Huacachina en base a indicadores
biológicos

Autor: Bach. Peralta Roldan, Elvis Sergio

Asesor: Dra. Montoya Terreros, Haydeé

LIMA-PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios, mis padres, mi esposa y a mi pequeña Tamara.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a la Dra. Haydeé Montoya Terreros y a la Mg. Nancy Carrasco por todo su apoyo en el asesoramiento de la presente investigación tanto en campo como en gabinete.

Al Blgo. Daniel Flores Castillo por su disposición y apoyo en el análisis estadístico.

Al Dr. Jorge Tam por sus importantes recomendaciones y aportes al desarrollo de la investigación.

A Karen Uribe y Junior Cupe, jóvenes san luisanos, por su asistencia en diferentes momentos del estudio.

A la Autoridad Nacional del Agua, Autoridad Administrativa del Agua Chaparra Chíncha por brindar la información necesaria que contrasta con la presente investigación.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	3
1.1. Formulación del problema y justificación del estudio.....	3
1.2. Antecedentes relacionados con el tema.....	7
1.3. Objetivos generales y específicos.....	11
1.4. Limitaciones del estudio.....	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	13
2.1. Bases teóricas relacionadas con el tema.....	13
2.2. Definición de términos usados.....	14
2.3. Hipótesis.....	15
2.4. Variables.....	16
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.1. Diseño de investigación.....	17
3.2. Población y muestra.....	17
3.3. Técnicas e instrumentos.....	19
3.4. Recolección de datos.....	23
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	27
4.1. Resultados.....	27
4.2. Análisis de resultados.....	32
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1. Conclusiones.....	48
5.2. Recomendaciones.....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
ANEXOS.....	54

LISTADO DE TABLAS

Tabla 01. Estaciones de muestreo de la laguna Huacachina.....	18
Tabla 02. Parámetros fisicoquímicos medidos en cada muestreo.....	19
Tabla 03. Calidad de agua según BMWPA modificado.....	24
Tabla 04. Microalgas presentes en las estaciones por fecha de muestreo en la laguna Huacachina, 2017.....	29
Tabla 05. Índices biológicos aplicados a la evaluación de microalgas de la laguna Huacachina, 2017.....	30
Tabla 06. Evaluación de presencia de macroinvertebrados bentónicos en la laguna Huacachina, 2017.....	31
Tabla 07. Índice BMWP aplicado en la laguna Huacachina 2017.....	31
Tabla 08. Matriz de correlaciones.....	33
Tabla 09. Estadísticos descriptivos.....	34
Tabla 10. Prueba de KMO y Bartlett.....	36
Tabla 11. Comunalidades.....	37
Tabla 12. Varianza total explicada.....	37
Tabla 13. Matriz de componentes.....	40
Tabla 14. Matriz de coeficiente de puntuación de componente.....	40
Tabla 15. Estadística descriptiva de los principales parámetros ambientales y bióticos de la Laguna de Huacachina, 2017.....	43
Tabla 16. Prueba de homogeneidad de varianzas de los principales parámetros ambientales y bióticos de la Laguna de Huacachina, 2017.....	43
Tabla 17. Análisis de varianza entre los tiempos de muestreo de los principales parámetros ambientales y bióticos de la Laguna de Huacachina, 2017.....	44
Tabla 18. Pruebas post hoc (comparaciones múltiples de Scheffe) de los principales parámetros ambientales y bióticos de la Laguna de Huacachina, 2017.....	45

LISTADO DE FIGURAS

Figura 01. Variación estacional de los principales parámetros ambientales en la laguna Huacachina, 2017.....	28
Figura 02. Variación estacional de los principales índices comunitarios de la evaluación de microalgas de la laguna Huacachina, 2017.....	30
Figura 03. Puntaje de ASPT de macroinvertebrados bentónicos de la laguna Huacachina 2017.....	32
Figura 04. Correlación entre variables ambientales e índices comunitarios de la laguna Huacachina, 2017.....	35
Figura 05. Gráfico de Sedimentación.....	39
Figura 06. Componentes Principales.....	41
Figura 07. Modos r y q de los Componentes Principales.....	42

RESUMEN

Los bioindicadores son especies o comunidades que proporcionan información sobre un lugar, dado su capacidad para crecer en condiciones de calidad del agua con relación a los cambios de las variables físicos y químicos.

Igualmente, la distribución y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos son influenciadas por: estructura del sedimento, cantidad de residuos orgánicos, concentración de nutrientes y productividad primaria cuyos niveles altos pueden ser dañinos. En tanto, gran cantidad de evaluaciones ambientales en ecosistemas lénticos han utilizado las microalgas por ser la principal biomasa, se toma muestras fácilmente y muchas especies planctónicas tienen preferencias ecológicas definidas.

En tanto, Huacachina, última de once humedales que existieron en la provincia de Ica, es patrimonio cultural del Perú y Área de Conservación Regional. Sin embargo, se realiza recargas de agua para mantener su nivel, y en conjunto con los parámetros ambientales modifica su aspecto trayendo consigo una diversidad de los taxas estudiados, por ello la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad de agua de Huacachina en base a bioindicadores (microalgas y macroinvertebrados bentónicos) relacionados con parámetros físico químicos. Mediante el Análisis de Componentes Principales, se han identificado los factores que pueden ser más importantes al relacionar la calidad de agua con bioindicadores. El procesamiento y análisis de datos utilizando el software SPSS, permitió obtener la matriz de correlaciones, componentes principales y la matriz de coeficientes para calcular puntuaciones en las componentes. Se obtuvieron dos componentes principales, la primera agrupó a diversidad y cantidad (fitoplancton y macroinvertebrados), la segunda a conductividad y transparencia. El ANOVA muestra que hay diferencias significativas entre los parámetros ambientales de la Laguna Huacachina entre los meses evaluados.

Se concluye que las microalgas y macroinvertebrados bentónicos son útiles para evaluar la calidad de agua en la Laguna Huacachina.

PALABRAS CLAVE: Bentos, bioindicador, calidad de agua, eutrofización, laguna, macroinvertebrados bentónicos, microalgas.

ABSTRACT

Bioindicators are species or communities that have information about a place, given their ability to grow in water quality conditions in relation to changes in physical and chemical variables.

Likewise, the distribution and diversity of benthic macroinvertebrates are influenced by: sediment structure, amount of organic waste, nutrient concentration and primary productivity whose high levels can be harmful. Meanwhile, many environmental assessments in lentic ecosystems have used microalgae because it is the main biomass, samples are easily taken and many planktonic species have defined ecological preferences.

Meanwhile, Huacachina, the last of eleven wetlands that existed in the province of Ica, is cultural patrimony of Peru and is Regional Conservation Area. However, water refills are carried out to maintain its level, and in conjunction with the environmental parameters modifying its appearance, bring a diversity of the taxa studied, so the present research aimed to evaluate the water quality of Huacachina based on bioindicators (microalgae and benthic macroinvertebrates) related to chemical physical parameters. Through Principal Component Analysis, was identified the factors that may be most important when relating water quality to bioindicators. The processing and analysis of data using the SPSS software, allowed obtain the correlations matrix, main components and the coefficient matrix to calculate the scores in the components. Two main components were obtained, the first grouped to diversity and quantity (phytoplankton and macroinvertebrates), the second to conductivity and transparency. The ANOVA shows that there are specific differences between the environmental parameters of Huacachina Lagoon between the months evaluated.

It is concluded that microalgae and benthic macroinvertebrates are useful for assessing water quality in Huacachina Lagoon.

KEY WORDS: Benthos, bioindicator, water quality, eutrophication, lagoon, benthic macroinvertebrates, microalgae

INTRODUCCIÓN

El ecosistema acuático es el resultado de la interacción de los organismos que allí viven con la calidad fisicoquímica del agua, la atmósfera y el medio terrestre que lo rodea. El agua, el compuesto más abundante sobre la tierra, posee características físicas y químicas que la hacen fundamental y única para el desarrollo de la vida tal como se conoce en este planeta. Por tanto, cualquier alteración que el hombre cause en ella, repercute en la estructura de las comunidades que la habitan (Roldán, 2003)¹.

Así mismo, las aguas continentales del Perú se clasifican de acuerdo a sus características físicas como loticas y lenticas, pero también de acuerdo al estado trófico (riqueza de nutrientes) en: oligotróficas como aquellas lagunas o ríos que presentan escasos nutrientes, con poco o nulo impacto antropogénico, aguas por lo general prístinas; mesotróficas, con moderado contenido de nutrientes y, por lo tanto, una producción igualmente moderada; y las eutróficas, con abundante concentración de nutrientes y alta producción. Sin embargo, muchos de los ríos y lagunas ubicados indistintamente en costa, sierra o selva reciben fuertes presiones de las poblaciones aledañas, ya sea como fuente directa de agua (uso doméstico, bebida para animales, riego, minería, etc.) como también por el uso desmedido e inadecuado del recurso (contaminación urbana o industrial) (UNMSM, 2014)².

Por otro lado, los indicadores biológicos (bioindicadores) pueden definirse como especies o comunidades particulares que, por su presencia, proporcionan información sobre el entorno físico y / o químico circundante en un sitio en particular. La base de las especies individuales como bioindicadores reside en su preferencia o tolerancia sobre hábitats particulares más su capacidad para crecer en condiciones particulares de calidad del agua³.

En cuanto a las características ideales de un indicador biológico, se observa que sólo unos pocos organismos podrían estrictamente satisfacer estos requerimientos. Así, Ghetti y Bonazzi (1981) citados por Roldán (2003), consideran a los macroinvertebrados

bentónicos como los mejores bioindicadores de la calidad de agua, siguiéndole las algas, luego protozoos, bacterias, y en menor grado los peces, macrófitas, hongos y virus.

En tanto la distribución y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos se ven influenciadas, directamente, por la estructura del sedimento y la cantidad de residuos orgánicos e indirectamente por modificaciones en la concentración de nutrientes y de la productividad primaria (Ward, 1992). La materia orgánica, depositada en el sedimento, constituye un importante hábitat y fuente de alimento para los macroinvertebrados bentónicos. Por otro lado, los niveles altos pueden ser dañinos, lo que lleva a condiciones anóxicas en el sedimento, reduciendo la supervivencia o incluso conduciendo a la mortalidad de organismos. Así, las comunidades de macroinvertebrados bentónicos reflejan las condiciones ecológicas de los ecosistemas acuáticos que habitan (Blauth et al., 2013)⁴. En tanto una gran cantidad de los estudios sobre lagos han utilizado la comunidad de fitoplancton para la evaluación ambiental contemporánea, ya que es la principal biomasa de algas, se toma muestras fácilmente en sitios a lo largo del lago y muchas especies planctónicas tienen preferencias ecológicas definidas.

Por ello, con la presente investigación se propone impulsar la evaluación de la calidad de agua en la laguna Huacachina en base a indicadores biológicos (microalgas y macroinvertebrados bentónicos) que se relacionan con los parámetros físico químicos, evaluando la influencia de las modificaciones físico químicas y de las estaciones del año en la composición de microalgas y macroinvertebrados bentónicos, dado a que éste humedal representa el principal atractivo turístico de la ciudad de Ica, teniendo categoría de Área de Conservación Regional, y que actualmente se observa la presencia de bañistas en el espejo de agua, sumado al hecho de que se dota de agua potable para mantener el nivel de la laguna y las diferentes fuentes de presión que incurren e impactan a este importante ecosistema.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Formulación del problema y justificación del estudio

La presencia o ausencia de especies de microalgas y macroinvertebrados bentónicos en un cuerpo de agua, puede indicar la ocurrencia de contaminación o de alteración del ecosistema acuático pudiendo constituirse en indicadores biológicos de la calidad de agua.

Por lo tanto, un indicador biológico o bioindicador puede ser definido como un conjunto de especies que poseen requerimientos particulares con relación a un grupo de variables físicas y químicas, tal que los cambios de estas variables indiquen para las especies involucradas que el sistema se encuentra en los límites de las curvas del óptimo ecológico⁵.

En tanto, el empleo de microalgas para evaluar la calidad del agua es una práctica habitual en muchos países, no obstante la inmensa mayoría de los estudios realizados se refieren a diatomeas y existe menos información sobre los restantes grupos de algas sumado al hecho que el uso de microalgas bentónicas como bioindicadores es más reciente⁶.

Igualmente, las microalgas se consideran útiles para la detección y seguimiento de las presiones debidas a eutrofización, incrementos de materia orgánica, salinidad y acidificación. La mayoría de microalgas son productores primarios y como tales responden a las variaciones de los nutrientes (especialmente fósforo) en el agua, mediante cambios en su composición que en algunos casos, suponen la disminución de la

diversidad, y el aumento de la biomasa; de forma que cuando la masa de agua se eutrofiza los sustratos aparecen recubiertos de pátinas verdes o algas pardas.

Por otro lado, los macroinvertebrados bentónicos son ampliamente utilizados en evaluaciones de impacto ambiental y recomendado en biomonitoreos, pero son poco usados en ambientes lénticos⁴, así también éstas comunidades son los mejores indicadores de contaminación acuática, debido a que son muy abundantes, se encuentran prácticamente en todos los sistemas de agua dulce y su recolección es simple y de bajo costo⁵.

Así mismo, se viene realizando recargas de agua para mantener el nivel de la laguna Huacachina y en conjunto con parámetros ambientales modifica el aspecto de la misma que tiene consigo una diversidad de los taxas antes mencionados.

Por consiguiente, el planteamiento del problema general obedece a la pregunta ¿Cuál es la relación entre los parámetros físico químicos con las poblaciones de microalgas y macroinvertebrados bentónicos para efectuar la evaluación de calidad de agua de la laguna Huacachina?.

Así también, los problemas específicos responden a las siguientes cuestiones: ¿Cuál es la relación entre la modificación de los parámetros físico químicos de la calidad de agua con la variación de las poblaciones de microalgas de la laguna Huacachina?, ¿Cuál es la relación entre la modificación de los parámetros físico químicos de la calidad de agua con la variación de las poblaciones de macroinvertebrados bentónicos de la laguna Huacachina?, y ¿Las estaciones del año influyen sobre la composición de las poblaciones de microalgas y macroinvertebrados bentónicos de la laguna Huacachina?.

La importancia del conocimiento de la relación entre los parámetros físico químicos de calidad de agua con la diversidad de microalgas y de macroinvertebrados bentónicos, radica en que se debe contar con información científica de la misma para conocer el estado de la calidad de agua con métodos rápidos y económicos como la identificación

de indicadores biológicos y así hacer frente a los problemas que puedan presentarse como consecuencia de la modificación producida con fines de recarga de la laguna y que podría tener repercusiones en la salud humana y el ambiente, realizando para ello un adecuado manejo del humedal con la toma de medidas de prevención y/o mitigación, evitando o reduciendo las afectaciones antes mencionadas y las consiguientes pérdidas económicas por el impacto sobre la actividad turística.

En tanto, la laguna Huacachina⁷ es un cuerpo de agua ubicado en el centro del Oasis, que depende actualmente del nivel de la napa freática, la actual recarga artificial de la laguna, la infiltración, la evaporación y evapotranspiración y por el material particulado que permanentemente cae al espejo de agua. Así también, existe una evidencia que la laguna era originalmente alimentada por filtraciones de agua del embalse de agua proveniente del Río Ica en el sector “Rincón Grande”.

Según Maldonado (1943) y Luján (1936) citados por Valle (2000)⁸, la fama de la Laguna de la Huacachina se sustenta en las capacidades curativas de la misma; y según los estudios hidrogeológicos realizados en el balneario de la Huacachina durante las tres primeras décadas del siglo pasado, las propiedades medicinales de las aguas de esta laguna estaban determinadas por cuatro factores: Grado de sales sulfatadas; grado de sales carbonatadas; grado de concentración de óxido de fierro; y abundancia de microflora específica (microalgas: *Arthrospira platensis* y Diatómeas). Éstas microalgas formaban capas o natas que impedían el flujo de oxígeno con la superficie, lo que aceleraba los procesos de eutrofización; las condiciones anóxicas creadas por debajo de la nata de *A. platensis* obligó a los demás organismos a transformar la materia orgánica muerta de estas natas, transformando los sulfatos asimilados en ácido sulfhídrico (olor característico a huevo podrido). Ayudaba en este proceso las altas temperaturas registradas en la laguna.

Por otro lado, actualmente la laguna recibe una dotación de agua para el mantenimiento de sus niveles proveniente de un pozo de agua denominado HUACACHINA –EMAPICA^{8,9}.

A su vez, ésta laguna, representa la última de once humedales que existieron en la provincia de Ica, tal como lo señala Sotil⁹ al investigar sobre las once lagunas que tuvo Ica hasta la década de los años setenta del siglo pasado, *las lagunas de Ica que se secaron (diez), tuvieron una causa común, la napa del nivel freático descendió progresivamente, luego el agua que afloraba a la superficie desapareció y con ella las lagunas*. Esto se debe al crecimiento vertiginoso de la ciudad de Ica y la expansión de las actividades económicas que se traducen en mayor presión sobre los recursos naturales ¹⁰. La mayor demanda del agua es agrícola y poblacional; y en la última década, el valle del río Ica ha sido testigo de un boom agroexportador liderado por grandes empresas que han destinado su producción al mercado global de alimentos. El incremento de técnicas de irrigación con agua subterránea ha permitido elevar la productividad. Sin embargo este boom productivo ha producido también un escenario de escasez hídrica en la cuenca de Ica ¹¹.

Sumado a lo anterior, Palacio (2012)⁷ en el estudio técnico integral para la recuperación, conservación, protección y promoción de la laguna de Huacachina, manifiesta que éste balneario, actualmente enfrenta serios problemas debido principalmente al crecimiento urbano de la última década, descontrolado y sin regulación ni planificación, impulsado fundamentalmente por el incremento de los servicios turísticos y que adicionalmente al crecimiento se ha dado paulatinamente un cambio radical en las actividades turísticas que conforman la oferta de Huacachina, fundamentalmente por la incursión del servicio de paseos por las dunas en vehículos tubulares, actividad que se ha consolidado como principal y ya característica de Huacachina actual, la cual ha dejado de ser exclusivamente un escenario natural y cultural para el disfrute del paisaje y la tranquilidad del oasis, con los cambios positivos y negativos que ello implica.

Cabe destacar que Huacachina desde 1985 es considerada como Ambiente Urbano Monumental a través de la Resolución Ministerial N° 1251-85-ED ¹² por la cual forma parte del patrimonio cultural del Perú; y desde el año 2014 ha sido creada el Área de Conservación Regional Laguna de Huacachina mediante Decreto Supremo 008-2014-

MINAM ¹³, la cual tiene como objetivo conservar su diversidad biológica, cultural y paisajística, y promover el uso sostenible de sus recursos naturales.

1.2. Antecedentes relacionados con el tema

Entre las investigaciones internacionales que guardan relación con el presente tema de investigación, se cuenta con:

López-Mendoza y col. (2015) desarrolló un trabajo sobre el fitoplancton del canal El Bordo ubicado en México, para conocer la estabilidad de la flora para esta zona que requiere medidas de remediación. Los resultados mostraron una composición diversa del fitoplancton que se relaciona con los valores de nutrimentos obtenidos que muestran que el sistema es variable aún dentro de una condición eutrofizada lo que podría estar relacionado con el manejo turístico del canal.

Estepp y Reavie (2015), publicaron una revisión sobre la historia ecológica del lago Ontario en relación al fitoplancton presentando evaluaciones cronológicas de algas para resumir las condiciones ambientales pasadas y presentes en el lago concluyendo que los datos recientes sugieren que aunque la composición de fitoplancton es estable, a ocurrido un aumento de las densidades de diatomeas eutróficos en primavera y de cianobacterias en verano.

Blauth de Lima y col. (2013), desarrollaron un estudio que tuvo como objetivo caracterizar la fauna predominante del sedimento del lago Figueira ubicado en Brasil, y su relación con la materia orgánica y la profundidad, analizando la variación estacional de las comunidades con el objetivo de seleccionar bioindicadores del estado trófico; resultando que la riqueza de taxas no se relacionó significativamente con la profundidad y con el contenido de materia orgánica. La oxigenación constante de toda la columna de agua permite la aparición de organismos, independiente de la profundidad y del contenido de materia orgánica. Chironomidae fue el taxón más abundante y sugiere que la composición de este taxa constituye una importante herramienta para predecir las condiciones tróficas en lagos y ser útil en los biomonitoreos.

Meichtry de Zaburlín y col. (2013) realizaron un estudio sobre la estructura y dinámica del fitoplancton del embalse Yaciretá (Argentina-Paraguay), hallando que el número de especies por muestra osciló entre 14 y 15 taxa y la diversidad específica entre 1.55 y 4.61 bits; y que al inicio del otoño y final de primavera se registró un aumento de la diversidad de cianobacterias. La marcada variación espacial y temporal del fitoplancton se ha debido a las variaciones del régimen hidrosedimentológico del río Paraná.

Espinoza, C. (2013), realizó un estudio en Ecuador para determinar el grado de contaminación de la laguna de Yahuarcocha identificando las áreas de mayor sensibilidad a través de un monitoreo de macroinvertebrados acuáticos, resultando que utilizando el Índice BMWP *Biological Monitoring Working Party modificado*, en las orillas de la laguna presentó una fuerte contaminación, concluyendo que la calidad de agua es “Muy Crítica” y en los afluentes que alimentan a la laguna dio como resultado un agua muy contaminada con una calidad de agua “Crítica”; y de acuerdo al análisis del Índice ETP (Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera) se estableció que en todos los sitios de muestreo la calidad de agua es Mala.

Bosak y col. (2012) en Egipto llevaron a cabo un trabajo en la cual analizaron composición, tamaño y estructura del fitoplancton de la bahía Boka Kotorska como un indicador del estado trófico del ecosistema acuático, empleando para ello análisis fisicoquímicos para relacionar la abundancia y biomasa. Observaron que el grupo Picocyanobacteria desempeña un papel fundamental en la transición nutricional de los ecosistemas pudiendo ser la fracción predominante del plancton, por lo que esto sugiere el uso potencial de picofitoplancton como bioindicador del estado trófico.

De Souza y col. (2012), en Brasil estudiaron la relación entre la distribución espacial de la comunidad de macroinvertebrados y el estado trófico en un depósito Neotropical en respuesta a factores ambientales encontrando 28 taxones, siendo la familia Chironomidae (Diptera) el grupo más rico con 19 taxones proponiendo que la comunidad de macroinvertebrados puede estar influenciada por las condiciones ambientales tales como

la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica, así como la concentración de oxígeno disuelto. En tanto *Chironomus* sp, *Limnodrilus hoffmeisteri* y *Branchiura sowerbyi* comprende un grupo que puede ser considerado como bioindicadores de condiciones eutróficas; y la presencia de dos o más miembros del grupo que comprende *Tanytarsini* spp, *Fissimentum* sp, *Pelomus* sp y *Goeldichironomus* sp, como taxones predominantes, podrá indicar condiciones mesotróficas.

Balogun y col. (2011) en Nigeria evaluaron la calidad de agua de una laguna utilizando macroinvertebrados bentónicos obteniendo un total de diez taxas a partir de 2672 individuos encontrados siendo los más dominantes *Pachymelania aurita*, *Aloidistrigona*, y *Neritinaglabrata*. La presencia de especies más tolerantes a la contaminación (*Nereis* spp, *Capitella capitata* y *Polydora ciliata*) en la estación A, puede servir para confirmar que la comunidad se ha visto afectada por la contaminación; y la baja abundancia y diversidad de fauna observada en la estación B podrían atribuirse al estrés impuesto por efluentes de origen industrial.

En cuanto a las investigaciones desarrolladas a nivel nacional se tiene:

Valcarcel, R. (2011), realizó una evaluación de la degradación de ecosistemas dulceacuícolas en la cuenca baja del río Uctubamba (Amazonas - Perú) mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos en la cual concluyó que fue posible encontrar diferentes grados de degradación de los ecosistemas lóticos de la cuenca baja del río Utcubamba. Otros aportes importantes de la investigación son el hallazgo de una elevada diversidad de la macrofauna bentónica en ambientes acuáticos de selva alta (90 taxa), presencia de géneros con importante potencial en estudios de bioindicación (*Baetodes*, *Leptohyphes* y *Tricorythodes*) y la aplicabilidad de los índices bióticos BMWP/Col e IBF en el área de estudio.

Paredes y col. (2005), realizaron en Lima el análisis de la composición faunística, riqueza de familias y calidad de agua de la Atarjea con base en el índice Biological Monitoring Working Party modificado (BMWP modif.). Se registraron 35 taxas, siendo Oligochaeta

el de mayor abundancia y el índice BMWP modif., valoró el agua del Río Rímac aguas debajo de la Atarjea, como de calidad crítica o muy contaminada, y la DBO indicó efectos de perturbación en el ecosistema acuático.

Así mismo, las investigaciones a nivel local que guardan relación se tiene:

Autoridad Nacional del Agua (2017), en sus reportes del programa de monitoreo participativo de la calidad de agua de la laguna Huacachina realizado entre 2015 y 2017, reporta que la laguna presenta características hipereutróficas debido a alta concentraciones celulares y de oxígeno, siendo las cianobacterias predominantes evidenciando una floración establecida por la alta cantidad de nutrientes (P y N totales).

Mendoza (2016), registra por primera vez a las cianobacterias *Sphaerocavum brasiliense* Azevedo y Sant'Anna y *Microcystis wesenbergii* (Komárek) en una floración algal de la laguna Huacachina (Ica), incluyendo el primer reporte del género *Sphaerocavum* para el Perú.

Calderón (2014) presentó los resultados de su investigación sobre la identificación y cuantificación fitoplanctónica y la correlación de parámetros biológicos con parámetros ambientales de la laguna Huacachina concluyendo que la alta densidad celular de las cyanophytas junto con la correlación significativa inversa que se obtuvo entre los parámetros biológicos con el OD y pH, y la baja diversidad fitoplanctónica, son indicadores de una floración algal.

Carpio y Purilla (2013) reportaron 32 especies agrupadas en 25 géneros; 17 familias; 8 órdenes y 5 divisiones, siendo 13 especies de CYANOPHYTA (40,63%); 8 especies de BACILLARIOPHYTA (25,00 %); 8 especies de CHLOROPHYTA (25,00 %); 2 especies de EUGLENOPHYTA (6,25 %) y 1 especie de PYRROPHYTA (3,12 %). Concluyéndose que las especies más representativas fueron las de la división CYANOPHYTA.

Solís y Phun (2013) investigaron la diversidad de zooplancton y zoobentos de la laguna Huacachina en la cual reportaron como especies dominantes del zoobentos a *Centropyxis* sp., *Melanoides* sp. y *Chironomus* sp., enfatizando que ésta última especie es un indicador de eutrofización. Además indican que la distribución mensual de abundancia del zoobentos tiende a incrementar a diferencia del zooplancton con tendencia a decrecer.

Barrera y col. (2007) realizaron un trabajo con el fin de identificar las especies integrantes del zoobentos litoral de la laguna de Huacachina, hallando que la especie predominante es el “caracol” *Melanoides tuberculata* con 72.6%. El Phylum Arthropoda es el mejor representado por tener el mayor número de especies (5) reportando a la especie *Chironomus* sp. conocida como indicador biológico de eutrofización.

1.3. Objetivos generales y específicos

1.3.1. General

Evaluar la calidad de agua de la laguna Huacachina en base a indicadores biológicos (microalgas y macroinvertebrados bentónicos) que se relacionan con los parámetros físico químicos.

1.3.2. Específicos

- Determinar la diversidad de microalgas por cada estación de la laguna Huacachina.
- Determinar la diversidad de macroinvertebrados bentónicos por cada estación de la laguna Huacachina.
- Determinar la relación existente entre estaciones del año y la diversidad de microalgas y macroinvertebrados bentónicos de la laguna Huacachina.

1.4. Limitaciones del estudio

Debido a restricciones presupuestales, no se estudiaron todas las variables físico-químicas de calidad de agua.

Para obtener información complementaria se recurrió a los informes desarrollados por la Autoridad Nacional del Agua de la cual hubo una demora en proporcionar la información de los monitoreos realizados en Huacachina.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas relacionadas con el tema

El cambio de las condiciones físicas y químicas del agua repercute en la modificación de las comunidades biológicas en ecosistemas acuáticos a consecuencias de procesos de contaminación y de factores ambientales.

Por ello, los científicos descubrieron que el control biológico de los sistemas acuáticos puede ser valioso para la calidad del agua y la detección de contaminación. Los organismos acuáticos muestran una respuesta duradera de los episodios de contaminación intermitentes que no siempre se detectan mediante el control químico rutinario ¹⁷.

La interacción entre factores físicos, químicos y bióticos determina la heterogeneidad ambiental ^{3,28}, factor clave para la determinación de la diversidad y patrones sucesionales de fitoplancton. La productividad del fitoplancton depende de los suministros adecuados de nutrientes; sin embargo, el aumento de las tasas de suministro de nutrientes, gran parte de ella hecha por el hombre, acelera la producción primaria o eutrofización con rápido crecimiento y acumulación de fitoplancton, evento conocido como Bloom, fenómeno que se define como agente principal del deterioro de la calidad del agua, incluyendo los malos olores y sabores, la desoxigenación de las aguas del fondo (hipoxia y anoxia), toxicidad, muerte de peces y alteraciones de la cadena alimenticia. Las toxinas producidas pueden afectar a la salud humana y animal en aguas usadas para fines recreacionales.

Por ello que el análisis de fitoplancton ha de servir para determinar el status ecológico y salud biológica del ecosistema acuático pudiéndose considerar que cuanto mayor es la diversidad de especies presentes en el medio, las aguas son de mejor calidad, aunque se debe tener en cuenta otras variables como el nivel de nutrientes y minerales; el estudio de la biología de las algas, principalmente de sus formas, puede indicar la presencia de factores adversos a su crecimiento y desarrollo, los que provocan malformaciones celulares en casi todas las especies o la desaparición de muchas de ellas.

Así mismo, los macroinvertebrados bentónicos responden frente a las perturbaciones ¹⁷ que ocurren dentro de su hábitat, modificando la estructura de su población en composición, abundancia, presencia o ausencia. Estos animales proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, y al usarlos se puede entender claramente el estado en que ésta se encuentra. Algunos requieren agua de buena calidad para sobrevivir; otros, en cambio, resisten, crecen y abundan cuando hay contaminación. Por esta razón, la mayor parte de los investigadores señalan que dentro de los grupos faunísticos que son considerados como bioindicadores de la calidad ambiental, los macroinvertebrados acuáticos son los mejores bioindicadores de la calidad del agua encontrándose en todo tipo de ambiente acuático de agua dulce, como ríos o lagunas, donde son importantes para el monitoreo de ese ecosistema acuático en particular.

Por todo ello, es importante el conocimiento de la relación entre las propiedades abióticas con la fauna béntica entendiendo el funcionamiento de los procesos ecológicos, así como emplear éste conocimiento para determinar la calidad de agua de ecosistemas acuáticos a partir de éstos organismos que constituyen indicadores biológicos.

2.2. Definición de términos usados

Bentos: Es una comunidad que comprende tanto animales invertebrados como vertebrados, y está caracterizada por habitar el sedimento acuático (fondo) y su superficie. Las respuestas de estas comunidades a las perturbaciones ambientales son útiles para evaluar posibles impactos.

Bioindicador: Un indicador de biodiversidad puede ser una variable cuantitativa o cualitativa que puede ser descripta o medida, la cual, cuando se observa periódicamente, muestra tendencias en las características de la biodiversidad a lo largo del tiempo.

Calidad de agua: Condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano.

Eutrofización: Proceso biológico de modificación del ecosistema acuático por el incremento de nutrientes orgánicos.

Fitoplancton: Algas microscópicas que viven suspendidas en la columna de agua.

Laguna: Depósito natural de agua, generalmente dulce y de menores dimensiones que un lago.

Macroinvertebrados bentónicos: invertebrados que por su tamaño relativamente grande son retenidos por redes de luz de malla de entre 250-300 μm , y son visibles al ojo humano, no muy inferiores de 0.5 mm pero habitualmente mayores de 3 mm; la gran mayoría de los mismos corresponden a grupos de artrópodos

Microalgas: Microorganismos fotosintéticos que pueden ser autótrofos o heterótrofos facultativos.

2.3. Hipótesis

2.3.1. General

Las microalgas y macroinvertebrados bentónicos influenciados por los cambios de los parámetros físico químicos, son útiles para la evaluación de calidad de agua en la laguna Huacachina.

2.3.2. Específicas

- La modificación de los parámetros físico químicos de la calidad de agua influye en la variación de la abundancia y composición de microalgas.
- La modificación de los parámetros físico químicos de la calidad de agua influye en la variación de la abundancia y composición de macroinvertebrados bentónicos.
- La diversidad de especies de microalgas y macroinvertebrados bentónicos presentan variaciones estacionales.

2.4. Variables

La investigación se realizó tomando en cuenta la relación entre las variables físico-químicas (temperatura, transparencia, DBO, DQO, salinidad, pH) de calidad de agua, variación de la composición de las microalgas y macroinvertebrados bentónicos de la laguna de Huacachina, riqueza de Margalef, diversidad de Shannon, índice BMWPA y puntaje ASPT.

Variable independiente: Calidad físico química del agua

Variable dependiente: microalgas y macroinvertebrados bentónicos

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación

Tipo de investigación : Básica
Método de investigación : No experimental transeccional correlacional.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población en estudio estuvo determinada por las comunidades de microalgas e invertebrados bentónicos existentes en la laguna de Huacachina.

La laguna Huacachina se ubica a unos 4 Km. al suroeste de la ciudad de Ica (14°, 15' y 52" de latitud Sur - 75° 52' de longitud Oeste), y a unos 380 msnm. Esta se haya dentro de la zona de vida del Desierto Desecado Sub Tropical, con elevaciones bajas de arena y escasa vegetación.

El área que comprende el ecosistema de Huacachina está caracterizado por la presencia de arenales en forma de dunas de constantes movimientos, apreciándose vegetación propia de la región hacia el lado oeste y norte con la predominancia de huarangos y toñúz, aunque también existen especies arbóreas introducidas como eucaliptos y las palmeras.

La provincia de Ica y por ende Huacachina, se encuentra en la región natural de la costa. Según Pulgar Vidal (1938), bajo criterios de altitud y conformación de flora y fauna

predominante, Ica se encuentra en la región Costa o Chala caracterizado por un relieve plano y ondulado, con partes montañosas, especialmente en la costa sur. Presenta pampas, dunas, tablazos, en un desierto arenoso interrumpido por ríos estacionales con clima subtropical.

3.2.2. Muestra

Tamaño de muestra: Para el caso de las microalgas, la colecta de muestras tanto cualitativas como cuantitativas en cada estación se hizo por triplicado con fijación y sin fijación, lo que dio un total de 12 muestras para el análisis de microalgas.

En tanto para el análisis de macroinvertebrados bentónicos se realizó muestras por triplicado en cada estación con el uso de la red Surber con un área de 33 x 33 cm, sumando un total de 12 muestras.

Diseño muestral: Se realizó un muestreo no probabilístico. Las muestras de agua de la laguna de Huacachina se colectó de cuatro estaciones de muestreo establecidos por la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental de Ica (DESA). Tabla 01. Imagen 01.

- Estación 1. Ingreso de abastecimiento de agua
- Estación 2. Altura del restaurante El Mirador
- Estación 3. Frente a zona de baños
- Estación 4. Zona de flora y fauna

Tabla 01. Estaciones de muestreo de la laguna Huacachina

ESTACION	DESCRIPCION	COORDENADAS		ALTITUD	Muestreo I		Muestreo II		Muestreo III	
		E	N		fecha	hora	fecha	hora	fecha	hora
1	Ingreso abastecimiento de agua	417613	8442477	411	18/03/2017	14:25	10/08/2017	11:00	10/12/2017	10:00
2	Altura restaurant El Mirador	417611	8442405	419	18/03/2017	13:57	10/08/2017	10:20	10/12/2017	10:30
3	Frente a baños (camerinos)	417517	8442367	409	18/03/2017	13:09	10/08/2017	10:00	10/12/2017	10:57
4	Zona de flora y fauna (totoraes)	417409	8442430	396	18/03/2017	12:07	10/08/2017	10:40	10/12/2017	11:25

Imagen 01. Ubicación de estaciones de muestreo según DESA-Ica.



Escala temporal: marzo, agosto y diciembre de 2017

Frecuencia: La toma de muestras se realizó en tres momentos de diferentes estaciones del año.

3.3. Técnicas e instrumentos

- La localización del área de muestreo se ubicó por estaciones de monitoreo del ambiente acuático fijándose mediante coordenadas UTM tomadas con GPS (Tabla 01).
- Previo a la colecta de las muestras, se midieron los parámetros fisicoquímicos como son: transparencia, temperatura, conductividad eléctrica, pH Oxígeno Disuelto y Demanda Química de Oxígeno (DQO) (Tabla 02).

Tabla 02. Parámetros fisicoquímicos medidos en cada muestreo

PARÁMETRO	UNIDAD	ESTACIÓN (Marzo 2017)				ESTACIÓN (Agosto 2017)				ESTACIÓN (Diciembre 2017)			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
TEMPERATURA	°C	31	31	31	31	23.5	22	23	22.5	25	25.5	25	26
TRANSPARENCIA	cm	30	30	42	38	51	54	49	47	18	20	22	20
OXIGENO DISUELTO	mg O ₂ /L	7.2	7.4	7	7.2	4.2	3.6	3.2	3	2.8	2.7	2.7	2.7
DQO	mg O ₂ /L	16.8	16.9	16.7	16.7	14	14	14	14	16.7	16.9	16.8	16.7
CONDUCTIVIDAD	Dus	1100	1130	1116	1126	1280	1260	1300	1320	1327	1380	1390	1400
PH	Unidad	8	8.5	8	8	7	7	7	7	8	8	8	7.9

Para el análisis de Microalgas

Colecta de muestras

Colecta de muestras cuantitativas

Se obtuvieron muestras concentradas mediante filtrado de un volumen conocido de agua a través de la red de plancton.

Colecta de muestras cualitativas para estudios taxonómicos

Se empleó el método por arrastre horizontal y vertical, con uso de una red de plancton y desde una embarcación, hasta conseguir un filtrado visible.

Preservación y etiquetado

- a. Muestras frescas o mantenidas en vivo.

Fueron de gran utilidad para la observación e identificación de micro algas. Las muestras colectadas se mantuvieron en refrigeración a 4 °C, en lugares sin luz por un espacio de aproximadamente doce horas.

- b. Muestras preservadas.

Para la preservación de muestras se utilizó la solución de Lugol al 1% (0,5 ml/100 ml de muestra).

Una vez colectada la muestra, esta se vertió a un frasco llenado con la muestra hasta las tres cuartas partes. Posteriormente, se añadió el preservante y se homogenizó, para así evitar el enquistamiento de algunos organismos.

- c. Etiquetado

Todas las muestras fueron etiquetadas para facilitar su identificación.

Identificación y análisis de las muestras

Los grupos presentes y el nivel taxonómico requerido a identificar (familia, género y especie) se realizó por observación directa de las muestras en fresco y en caso de algunos grupos taxonómicos, fue mejor el reconocimiento con el empleo de lugol.

Técnicas de análisis

a. Cualitativo

Consistió en realizar una identificación de los taxa presentes en la muestra, sin importar su cantidad. Se realizaron observaciones al microscopio con lamina-laminilla con un mínimo de 3 repeticiones por muestra.

b. Cuantitativo

La cuantificación del fitoplancton fue realizada estadísticamente, ya que no es posible contar todos los individuos que se encuentran en la muestra.

Para tal efecto se aplicó el método de Sedgwick-Rafter²⁶. Para ello, se empleó la placa o cámara del mismo nombre, cuyas dimensiones son de 5 cm de largo por 2 cm de ancho y 1 mm de altura, con capacidad para 1 ml de muestra. El recuento de organismos se hizo por cuadrantes. Los resultados se dan en número de individuos/ml. (APHA-AWWAWEF).

El análisis de las muestras para la identificación y recuento de las especies de microalgas se realizó utilizando claves taxonómicas especializadas.

Para el análisis de macroinvertebrados bentónicos

Colecta de muestras

Se empleó la red Surber para obtener muestras.

Método de recolección cuantitativo - Red Surber

Consta de un marco metálico de 30 x 30 cm, al cual está sujeta una red de unos 80 cm de longitud y con una abertura de malla de aproximadamente 500 μ . El

marco se coloca sobre el fondo y en contra de la corriente y con las manos se remueve el material del fondo, quedando atrapados los organismos en la red. Esta operación se repitió tres veces en cada estación de muestreo, pudiéndose calcular el número de organismos por m². El material colectado se vacía luego en un recipiente con alcohol al 70% para ser separado en el laboratorio.

Preservación y etiquetado

Las muestras fueron conservadas en alcohol etílico al 70%.

Los envases fueron rotulados con datos de localidad, laguna, fecha, tipo de sustrato y colector.

Identificación y análisis de las muestras

Técnica de análisis

Las muestras colectadas se colocaron en bandejas blancas y con la ayuda de pinzas de aluminio de punta fina se procedió a la separación de los organismos. El sedimento se fue removiendo cuidadosamente de un extremo a otro de la bandeja, hasta asegurarse de que no queden organismos.

Cualitativo

La identificación de los organismos se realizó hasta el nivel taxonómico de familia utilizando guías especializadas.

Cuantitativo

Luego de la identificación se realizó un conteo de todos los organismos de la muestra, teniendo en cuenta el área total de la colecta.

3.4. Recolección de datos

Cantidad

Se determinó el número de individuos por especie en la muestra de fitoplancton en base al cálculo del método Sedgwick-Rafter. Para el caso de los macroinvertebrados bentónicos se realizó el conteo directo de los individuos colectados con la Red Surber y se extrapoló a número de organismos por metro cuadrado. En ambos casos la cantidad corresponde al número total de individuos obtenidos en la estación de muestreo.

Manejo estadístico de la información

Identificadas las especies, se obtuvieron las listas de composición taxonómica, clasificación en taxa y distribución por ambientes acuáticos y estaciones de muestreo, lo que permitió el conocimiento del número de especies e individuos, además de los índices comunitarios y biológicos, determinándose así el estado de la biota acuática.

Índices Comunitarios

Riqueza de Margalef: ($D_{mg} = S-1/\ln N$)

Donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

El resultado del cálculo realizado supone una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos (Magurran, 1988).

El índice de Diversidad de Shannon-Wiener

Se comprobó la calidad de los ambientes acuáticos relacionando los valores comunitarios, resultantes del índice de Shannon-Wiener con base 2, según la Clasificación del Estado de Conservación de los Cuerpos de Agua de Wilhm & Dorris (1968). Su cálculo sería según la expresión siguiente:

s

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i$$

i=1

Donde:

H' = contenido de información de la muestra (bits/individuo)

S = número de especies

p_i = proporción del total de la muestra que corresponde a la especie i

Índice BMWP Biological Monitoring Working Party modificado²⁷

Se calcula sumando las puntuaciones asignadas a las distintas familias de macroinvertebrados encontradas, según su grado de sensibilidad a la contaminación. El puntaje se asigna una sola vez por familia, independientemente de la cantidad de individuos o géneros encontrados. La suma de los puntajes de todas las familias encontradas en el sitio de estudio brinda el valor final del índice. Este valor permite determinar la calidad del agua según las categorías listadas en la siguiente tabla:

Tabla 03. Calidad de agua según BMWPA modificado

CLASE	CALIDAD	BMWP modif.	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	> 150, 101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	Aguas frecuentemente contaminadas	Rojo

Fuente: Roldán, 2003.

El puntaje promedio por taxón conocido como ASPT (Average Score per Taxon), es el puntaje total BMWP dividido entre el número de los taxa, y van del 0 al 10; un valor bajo de ASPT asociado a un valor bajo de BMWP indicará condiciones graves de contaminación.

Prueba de Hipótesis

Para probar la primera y segunda hipótesis, se realizaron análisis estadístico en el software SPSS (V23), obteniendo la Matriz de correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos de la calidad de agua y la abundancia (cantidad) de microalgas y macroinvertebrados bentónicos, así como la desviación estándar (dispersión de los datos) de los parámetros ambientales. Complementándose con las pruebas KMO y Bartlett; así como, la matriz de comunalidades.

- Los gráficos de dispersión fueron realizados en Excel y el análisis multivariado en modo r y q se graficaron en el software R, mediante un biplot.
- Para probar la tercera hipótesis, se realizó un análisis de variancia entre estaciones del año de la diversidad de especies de microalgas y macroinvertebrados bentónicos, así como el Análisis de Componentes Principales, empleando el software estadístico SPSS (V23).

Se ha empleado el Análisis de Componentes Principales (ACP), técnica multivariante que permite el tratamiento conjunto de diversas variables, reduciendo el número de datos e identificando un grupo de variables ficticias, que se forman combinando las variables observadas. Este tipo de análisis permite sintetizar los datos y relacionarlos entre sí, sin hacer ninguna hipótesis previa sobre lo que significa cada factor inicial.

El ACP tiene su fundamento teórico en el análisis estadístico multivariante con énfasis en las matrices de correlaciones y matrices de varianzas-covarianzas y matemáticamente en el álgebra matricial de formas características cuadráticas, eigenvalores o raíces características y eigenvectores o vectores, asimismo, en el método langrangiano para maximizar varianzas.

Para la digitalización de los datos se empleó la hoja de cálculo Microsoft® Excel 2003 y el procesamiento de datos para el ACP fue realizado en el software estadístico incorporado en el paquete SPSS 23.0.

Las expresiones matemáticas empleadas para el cálculo de los elementos que intervienen en el ANOVA fueron las siguientes:

Media Global:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}}{n}$$

Variación Total:

$$SCT = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x})^2$$

Variación Intra-grupos:

$$SCD = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$$

Variación Inter-grupos:

$$SCE = \sum_{j=1}^K (\bar{x}_j - \bar{x})^2 n_j$$

Donde:

x_{ij} = i – ésimo valor de la muestra j – ésima

n_j = tamaño de muestra

\bar{x}_j = media de la muestra

En el ANOVA el contraste de hipótesis se realiza con el estadístico F de Fisher-Snedecor, según:

$$F = \frac{\left(\frac{RSS_0 - RSS_1}{m} \right)}{\left(\frac{1 - RSS_0}{n - k} \right)}$$

Donde:

RSS_0 = coeficiente de determinación del modelo sin restringir (R^2)

RSS_1 = coeficiente de determinación del modelo restringido (R^2)

m = número de restricciones impuestas a los coeficientes estimados

k = número de coeficientes estimados en el modelo sin restricciones

n = número de observaciones del modelo

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Análisis de factores ambientales

El registro mayor de temperatura del agua ha resultado en el muestreo realizado en verano con un valor de 31°C, seguido de primavera e invierno (Fig. 1a). En tanto, para el factor conductividad, ésta fue mayor en primavera y la menor en verano (Fig. 1b).

Para el factor de transparencia, resultó notablemente mayor para la estación de invierno, a diferencia de los registros menores en verano y en primavera que incluso llegó a una diferencia de unos 30 cm en ésta última estación (Fig.1c).

El DQO para verano y primavera resultó con valores similares con unos 16.7 mg O₂/L, en tanto para invierno resultó con 14 mg O₂/L (Fig. 1d).

Para el caso de Oxígeno disuelto, los mayores valores fueron registrados en verano sobre 7 mg O₂/L, seguido por invierno y primavera con valores 3.5 y 2.7 mg O₂/L respectivamente (Fig. 1e).

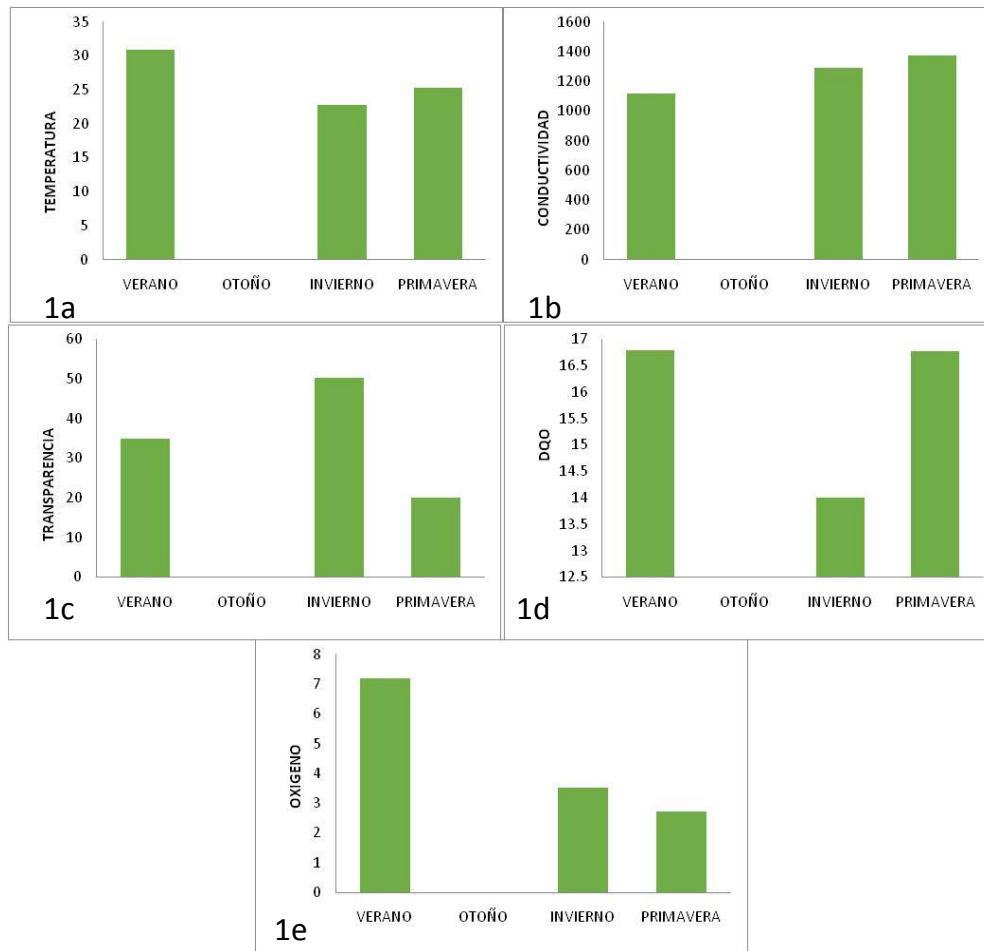


Figura 01. Variación estacional de los principales parámetros ambientales en la laguna Huacachina, 2017.

4.1.2. Análisis de microalgas

a. Cualitativo

La identificación de los taxa presentes en el total de las tres evaluaciones durante el año 2017, resultó en la presencia de 28 especies las mismas que se detalla a continuación en la tabla 04.

Tabla 04. Microalgas presentes en las estaciones por fecha de muestreo en la laguna Huacachina, 2017.

N°	DIVISIÓN	ESPECIE	PRESENCIA DE MICROALGAS SEGÚN MUESTREOS POR CADA ESTACIÓN											
			PRIMERO (marzo 2017)				SEGUNDO (agosto 2017)				TERCERO (diciembre 2017)			
			I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Cyanophyta	ANABAENA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0
2		ANABAENOPSIS	X	X	X	X	X	0	X	X	X	X	X	X
3		APHANOCAPSA	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0
4		OSCILLATORIA	X	X	X	X	0	0	0	0	X	X	X	X
5		PLANKTOTHRIX	X	X	X	X	X	0	0	0	X	X	X	0
6		CHROOCOCCUS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7		<i>Microcystis aeruginosa</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8		WORNICHINIA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	Chlorophyta	CHLORELLA	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	0
10		CHODATELLA	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0
11		<i>Botryococcus braunii</i>	X	X	0	X	0	0	0	0	X	0	0	X
12		COELASTRUM	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13		<i>Kirchneriella lunaris</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14		MICRACTINIUM	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15		OOCYSTIS	X	X	X	X	0	0	0	0	X	X	X	X
16		PEDIASTRUM	X	X	0	X	0	0	X	0	X	X	X	X
17		<i>Scenedesmus quadricauda</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
18		<i>Scenedesmus</i> sp.	X	X	X	X	X	0	X	0	X	X	X	X
19		<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20	TETRAEDROM	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
21	Bacillariophyta	ACHNANTHES	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0
22		RHOPALODIA	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	0	X
23		NAVICULA	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
24		CYMBELLA	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X
25		NITZCHIA	0	X	0	X	X	0	0	X	X	X	X	X
26	Pyrrophyta	PERIDINIUM	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
27	Euglenophyta	Euglena	X	X	X	X	0	0	0	X	0	X	0	X
28		Phacus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X

b. Cuantitativo

La cuantificación de microalgas se realizó mediante el método de Sedgwick-Rafter a partir de las muestras tomadas en las cuatro estaciones de la laguna y para los tres momentos de muestreo. (Ver ANEXO 01. Resultados de evaluación fitoplanctónica).

Los resultados de la aplicación de índices comunitarios y biológicos se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla 05. Índices biológicos aplicados a la evaluación de microalgas de la laguna Huacachina, 2017.

	PRIMER MUESTREO				SEGUNDO MUESTREO				TERCER MUESTREO			
INDICE	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
S	23	24	20	25	17	13	16	16	22	22	19	22
H	1.46	1.46	1.3	0.89	0.42	0.28	0.35	0.33	0.89	0.87	0.81	0.78
Dmg	2.7	2.68	2.19	2.57	1.65	1.2	1.52	1.54	2.14	2.18	1.82	2.24

El índice Shannon aplicado para el primer muestreo, resultó con valor de 1.46 nats/individuo en las estaciones 1 y 2 mostrando la mayor diversidad. Para el segundo muestreo la estación 1 obtiene el mayor puntaje seguido por la estación 3 con 0.42 y 0.35 nats/individuo respectivamente. Finalmente, en el tercer muestreo, la estación 1 resulta con mayor diversidad de 0.89 nats/individuo seguido de la estación 2 con 0.87 nats/individuo. Complementariamente, se puede apreciar en Fig. 02 la variación estacional de éste parámetro.

En tanto, se presenta una mayor riqueza específica en la estación 1 del mes de marzo, repitiéndose para el segundo muestreo del mes de agosto. Sin embargo en el tercer muestreo la estación 4 resulta con mayor riqueza específica; apreciándose también la variación de éste índice en la Figura 2b.

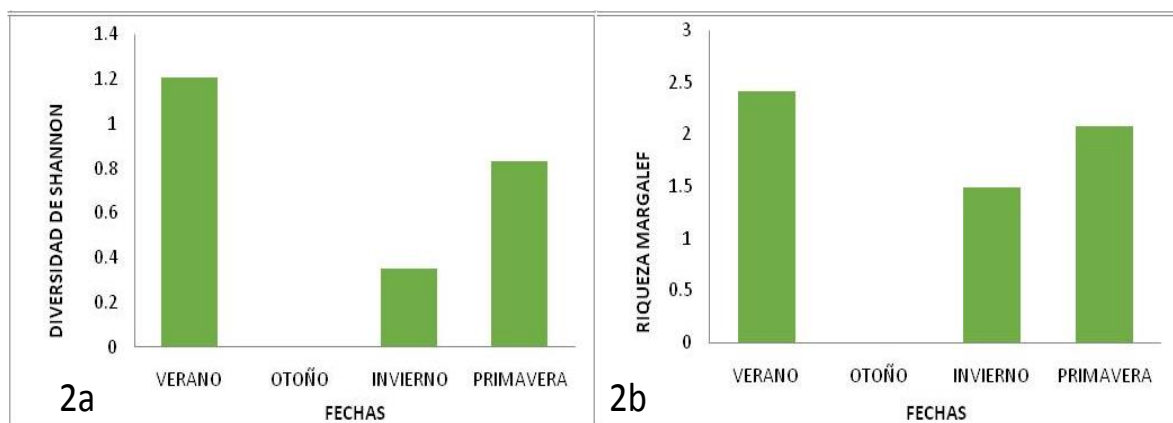


Figura 02. Variación estacional de los principales índices comunitarios de la evaluación de microalgas de la laguna Huacachina, 2017.

4.1.2. Análisis de macroinvertebrados bentónicos

a. Cualitativo y cuantitativo

La identificación de los organismos se realizó hasta el nivel taxonómico de familia y género utilizando guías especializadas, habiéndose realizado un conteo por estación y tiempo de muestreo obteniendo como resultado lo siguiente.

Tabla 06. Evaluación de presencia de macroinvertebrados bentónicos en la laguna Huacachina, 2017.

CLASE	FAMILIA	GENERO	PRESENCIA DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS SEGÚN MUESTREOS POR CADA ESTACIÓN											
			PRIMERO (marzo 2017)				SEGUNDO (agosto 2017)				TERCERO (diciembre 2017)			
			I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
INSECTA	CHIRONOMIDAE	CHIRONOMUS	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
MOLUSCA	THIARIDAE	MELANOIDES	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	PLANORBIDAE	PLANORBIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8

Como resultado de la aplicación del “Índice BMWP Biological Monitoring Working Party modificado”, se evidencia que en todas las estaciones y momentos de muestreo, la calidad de agua resultó de clase V Muy crítica para la laguna Huacachina durante el año 2017, lo cual se demuestra en la tabla a continuación:

Tabla 07. Índice BMWP aplicado en la laguna Huacachina 2017.

Estación	PRIMERO (marzo 2017)				SEGUNDO (agosto 2017)				TERCERO (diciembre 2017)			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Puntaje ASPT	2	2	2	3.5	0	0	0	0	0	0	0	5
Valor BMWP	2	2	2	7	0	0	0	0	0	0	0	5
Clase	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Calidad de agua	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica	Muy crítica

Así mismo, se confirma con el puntaje promedio de los taxones conocidos (ASPT) que se asocian a los valores BMWPA.

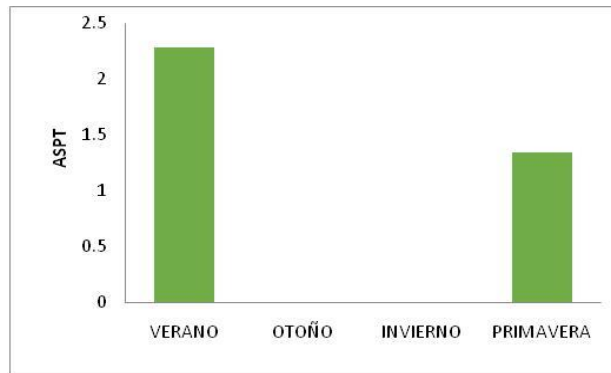


Figura 03. Puntaje de ASPT de macroinvertebrados bentónicos de la laguna Huacachina 2017.

4.2. Análisis de resultados

La Tabla 08 muestra la matriz de correlaciones, que como podemos comprobar presenta el valor 1,00 en toda su diagonal y diferentes coeficientes de correlación, por lo que podemos afirmar que el Análisis de Componentes Principales es adecuado para las variables objeto de estudio.

Tabla 08. Matriz de correlaciones

	Cantidad	Temperatura	Transparencia	O_Disuelto	DQO	Conductividad	pH	ASPT	S	D_Mg	H	
Correlación	Cantidad	1,000	-,127	,044	-,105	-,098	,091	-,104	-,082	-,055	-,076	-,101
	Temperatura	-,127	1,000	-,190	,896	,703	-,809	,760	,556	,485	,625	,779
	Transparencia	,044	-,190	1,000	,225	-,804	-,349	-,724	-,228	-,468	-,414	-,426
	O_Disuelto	-,105	,896	,225	1,000	,337	-,974	,457	,384	,291	,460	,615
	DQO	-,098	,703	-,804	,337	1,000	-,199	,958	,454	,582	,609	,727
	Conductividad	,091	-,809	-,349	-,974	-,199	1,000	-,317	-,261	-,201	-,374	-,539
	pH	-,104	,760	-,724	,457	,958	-,317	1,000	,421	,585	,635	,785
	ASPT	-,082	,556	-,228	,384	,454	-,261	,421	1,000	,471	,516	,382
	S	-,055	,485	-,468	,291	,582	-,201	,585	,471	1,000	,970	,752
	D_Mg	-,076	,625	-,414	,460	,609	-,374	,635	,516	,970	1,000	,864
	H	-,101	,779	-,426	,615	,727	-,539	,785	,382	,752	,864	1,000
	Sig. (unilateral)	Cantidad		,024	,247	,050	,063	,078	,052	,100	,197	,118
Temperatura		,024		,001	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
Transparencia		,247	,001		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
O_Disuelto		,050	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
DQO		,063	,000	,000	,000		,001	,000	,000	,000	,000	,000
Conductividad		,078	,000	,000	,000	,001		,000	,000	,001	,000	,000
pH		,052	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
ASPT		,100	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
S		,197	,000	,000	,000	,000	,001	,000	,000		,000	,000
D_Mg		,118	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
H		,057	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	

a. . Determinante = 6,269E-11

En la Tabla 09 se muestran los estadísticos descriptivos de las variables estudiadas, entre las de calidad de agua y las de indicadores biológicos.

Tabla 09. Estadísticos descriptivos

	Media	Desviación estándar
Cantidad	2182,13	9099,727
Temperatura	26,957	3,4483
Transparencia	33,46	12,162
O_Disuelto	4,698	2,0742
DQO	16,073	1,2111
Conductividad	1251,89	114,850
pH	7,789	,4856
ASPT	1,3735	1,67806
S	20,09	4,477
D_Mg	2,0652	,55320
H	,8563	,41380

Debido a la gran heterogeneidad de los datos, también se obtienen dispersiones muy heterogéneas (Fig. 04). Esta es la razón por lo que en el ACP se estandarizan los datos.

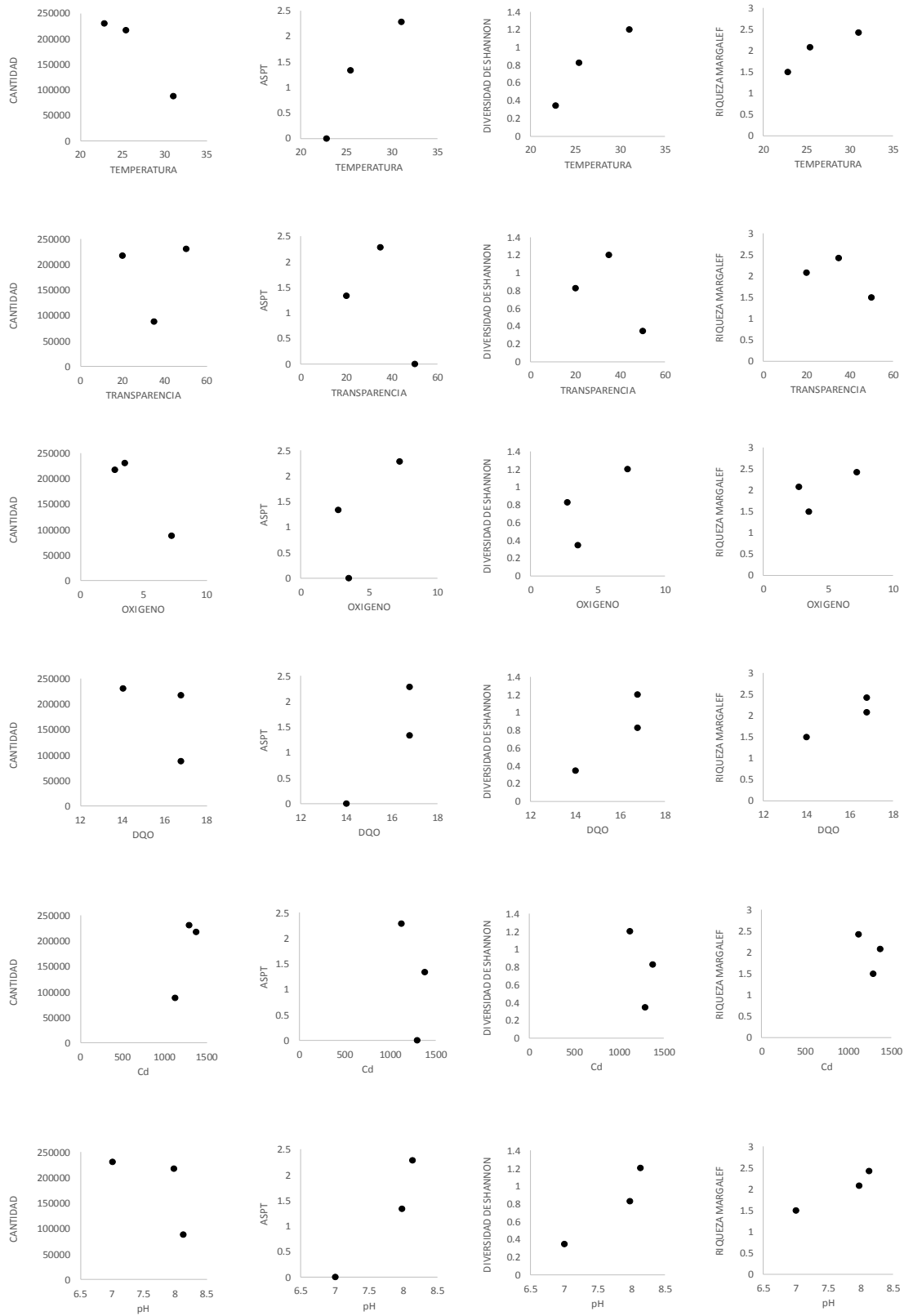


Figura 04. Correlación entre variables ambientales e índices comunitarios de la laguna Huacachina, 2017

En la Tabla 10 se presentan los resultados que comprueba la adecuación deseable a este análisis, ya que el estadístico de KMO presenta un valor de 0,556, indicando la proporción de la varianza que tienen en común las variables analizadas (a partir de 0,5 se considera que es buena la adecuación muestral para un análisis factorial).

Tabla 10. Prueba de KMO y Bartlett

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0,556
Prueba de esfericidad de Bartlett	<i>Chi-cuadrado aproximado</i>	5626,53
	gl	55
	Sig.	0,000

Asimismo, mediante la prueba de esfericidad de Bartlett podemos asegurar que si el nivel crítico es superior a 0,05 entonces no podremos rechazar la hipótesis nula de esfericidad. Como se puede comprobar en el presente análisis la significación es perfecta, ya que obtiene el valor 0,000. Se comprueba que los datos obtenidos ofrecen una matriz definida positiva, condición necesaria para poder continuar con la metodología ACP.

Las denominadas comunalidades en el inicio de una técnica ACP siempre son iguales a uno, cobrando sentido en los componentes obtenidos al final. Al considerar tan sólo un número reducido de factores entre todas las variables observadas, la varianza total no queda totalmente explicada. Por tanto, sus valores oscilarán entre cero y uno, es decir, entre la posibilidad de que los factores comunes no expliquen nada de la variabilidad de una variable o que por el contrario ésta quede totalmente explicada por los factores comunes.

La Tabla 11 presenta las comunalidades obtenidas para cada una de las variables, una vez realizada la extracción. Así, podemos comprobar que variables tales como la Temperatura con un 0,937 de comunalidad, la Transparencia con un 0,920 o el Oxígeno Disuelto con un 0,979, explican en mayor proporción la varianza según su participación en los factores o componentes resultantes en el análisis, mientras que variables como ASPT y Riqueza

participan en menor medida con un 0,362 y 0,673 respectivamente en la explicación de dicha varianza.

Tabla 11. Comunalidades

	Reescalado	
	Inicial	Extracción
Cantidad	1,000	,022
Temperatura	1,000	,937
Transparencia	1,000	,920
O_Disuelto	1,000	,979
DQO	1,000	,864
Conductividad	1,000	,967
pH	1,000	,852
ASPT	1,000	,362
S	1,000	,673
D_Mg	1,000	,758
H	1,000	,847

Método de extracción: análisis de componentes principales.

En la Tabla 12 se muestran los Autovalores iniciales por componente; así como, la suma de extracción de cargas al cuadrado.

Tabla 12. Varianza total explicada

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	
Reescalado	1	5,911	53,735	53,735	5,911	53,735	53,735
	2	2,271	20,649	74,384	2,271	20,649	74,384
	3	1,000	9,089	83,473			
	4	,901	8,191	91,664			
	5	,711	6,463	98,127			
	6	,108	,983	99,110			
	7	,045	,409	99,519			

8	,035	,317	99,836
9	,014	,126	99,962
10	,003	,029	99,991
11	,001	,009	100,000

Método de extracción: análisis de componentes principales.

En base a dicha tabla se puede decidir con cuantos componentes o factores se va a trabajar. Podemos comprobar, que a partir de la componente número dos el autovalor comienza a ser superior a la unidad, aunque en estas componentes se observa valores altos del porcentaje de la varianza, y además el porcentaje de la varianza explicada acumulada asciende al 74,384%, por lo que podemos considerar que éste puede ser un valor lo suficientemente alto para estimar que dos es un número de factores suficiente.

Existen reglas para saber el número más adecuado a conservar, por ejemplo, la que se conoce como Criterio de Kaiser que indica que hay que conservar los componentes principales cuyos valores propios son mayores que la unidad, aunque el criterio más utilizado es el de observar el porcentaje de varianza total explicada por cada componente o factor, y cuando éste llega a un porcentaje acumulado considerado alto normalmente cerca del ochenta por ciento, significa que el número de factores es suficiente.

En la Figura 05 se presenta el gráfico de sedimentación de las componentes, que suele ser utilizado también como contraste gráfico para conocer el número de componentes a retener.

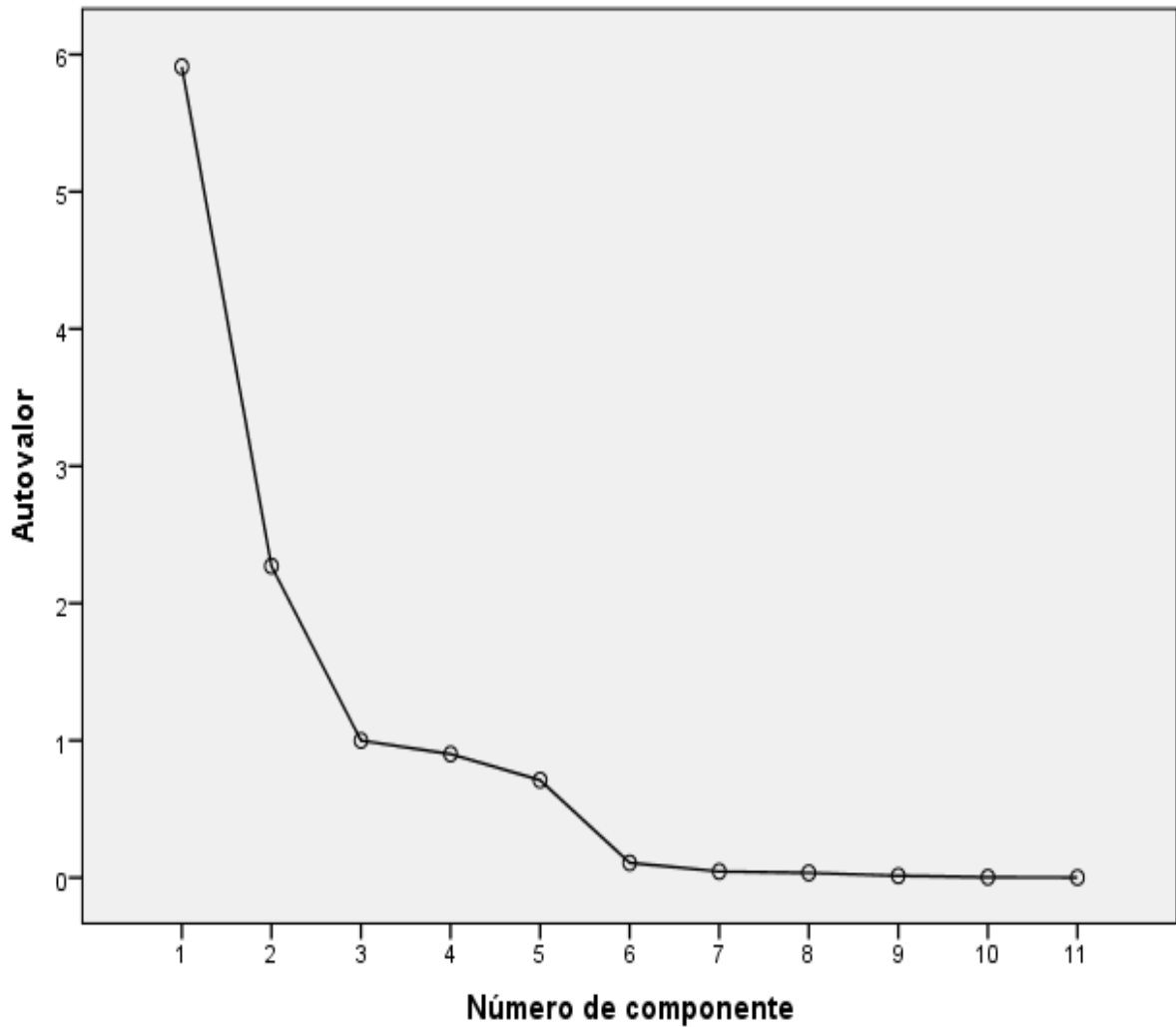


Figura 05. Gráfico de Sedimentación

Según este criterio se retienen todas las componentes que están situadas previamente a la zona de sedimentación, entendiendo por esta la parte del gráfico en la que los componentes empiezan a no presentar pendientes fuertes, que para los datos obtenidos podemos comprobar que puede ser a partir de la componente dos.

La Tabla 13 presenta los indicadores ordenados según el valor de los coeficientes de correlación con las sucesivas componentes.

Tabla 13. Matriz de componentes^a

	Componente	
	1	2
Cantidad	-,140	-,053
Temperatura	,900	,357
Transparencia	-,486	,827
O_Disuelto	,688	,712
DQO	,844	-,390
Conductividad	-,574	-,799
pH	,882	-,272
ASPT	,601	,012
S	,775	-,269
D_Mg	,862	-,121
H	,920	,000

Método de extracción: análisis de componentes principales.

a. 2 componentes extraídos.

La Tabla 14 presenta los coeficientes de ponderación que permitirán calcular las puntuaciones de las componentes para luego calcular los índices sintéticos de los indicadores ambientales y biológicos de la Laguna Huacachina.

Tabla 14. Matriz de coeficiente de puntuación de componente

	Componente	
	1	2
Cantidad	-,024	-,023
Temperatura	,152	,157
Transparencia	-,082	,364
O_Disuelto	,116	,313
DQO	,143	-,172
Conductividad	-,097	-,352
pH	,149	-,120
ASPT	,102	,005
S	,131	-,118
D_Mg	,146	-,053
H	,156	,000

Método de extracción: análisis de componentes principales.
Puntuaciones de componente.

La Figura 06, permite visualizar en dos dimensiones a los componentes como ejes la ubicación en el espacio de los once indicadores y los datos en modo r y q se muestran en la figura 7.

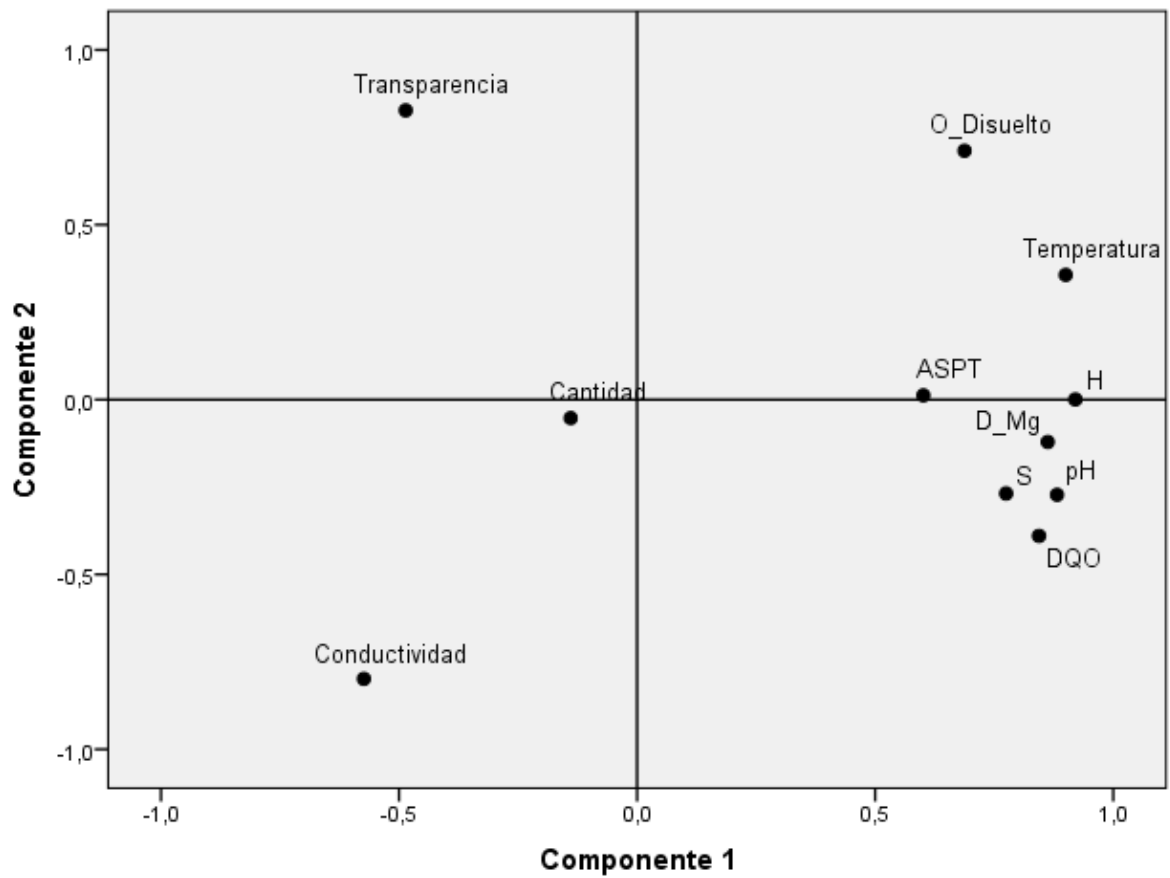


Figura 06. Componentes Principales

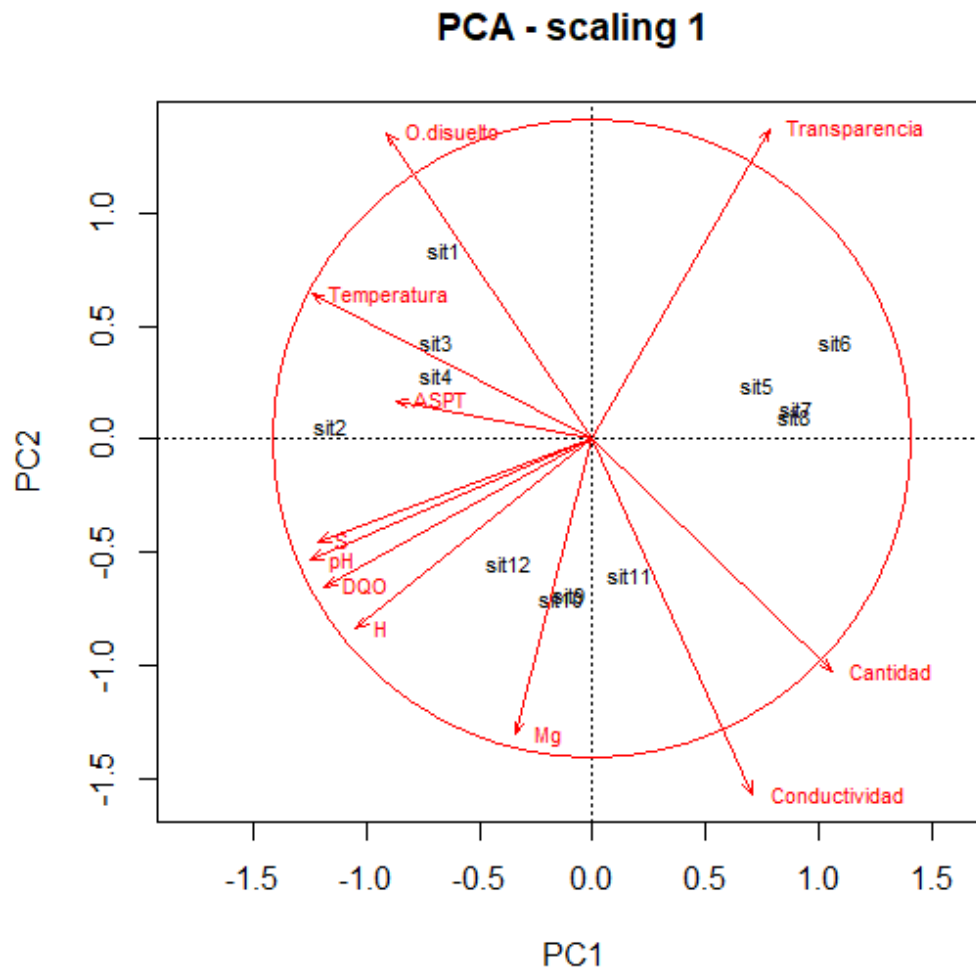


Figura 07. Modos r y q de los Componentes Principales

Al observar las Tablas 13 y 14 y las Figuras 6 y 7, se pueden diferenciar dos componentes principales, el PC1 fue representado por diversidad (lado negativo) y cantidad (lado positivo), y el PC2 agrupó dos indicadores referidos a conductividad (lado negativo) y transparencia (lado positivo). Se observó que la variación temporal fue mayor que la variación espacial.

Se realizó el análisis exploratorio de los datos ambientales y bióticos en el software estadístico SPSS según los meses de muestreo, los resultados estadísticos descriptivos se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Estadística descriptiva de los principales parámetros ambientales y bióticos de la Laguna de Huacachina, 2017.

	Media	Desviación estándar
Cantidad	2182,13	9099,727
Temperatura	26,957	3,4483
Transparencia	33,46	12,162
O_Disuelto	4,698	2,0742
DQO	16,073	1,2111
Conductividad	1251,89	114,850
pH	7,789	,4856
ASPT	1,3735	1,67806
S	20,09	4,477
D_Mg	2,0652	,55320
H	,8563	,41380

Los valores del nivel crítico de significancia ($< 0,05$) obtenidos en el Test de Levene, muestran que no hay homogeneidad de varianzas, demostrando la hipótesis de que existe diferencias de varianzas entre los parámetros ambientales y bióticos de la Laguna de Huacachina, según los meses de muestreo (Tabla 16).

Tabla 16. Prueba de homogeneidad de varianzas de los principales parámetros ambientales y bióticos de la Laguna de Huacachina, 2017.

	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Cantidad	7,938	2	242	,000
Temperatura	196,658	2	242	,000
Transparencia	239,076	2	242	,000
O_Disuelto	180,129	2	242	,000
DQO	143,708	2	242	,000
Conductividad	37,443	2	242	,000
pH	184,865	2	242	,000
ASPT	153,054	2	242	,000

S	9,730	2	242	,000
D_Mg	10,109	2	242	,000
H	71,534	2	242	,000

El Análisis de Varianza - ANOVA realizado muestra el estadístico F y el nivel de significación para cada parámetro ambiental y biótico analizado. En la Tabla 17 se puede observar que el nivel de significación (sig.) intraclase es menor o igual que 0,05 para los parámetros ambientales, con lo cual se demuestra que las medias son diferentes.

Sin embargo para el parámetro biótico cantidad de individuos por unidad de muestreo se observa que el nivel de significación es mayor a 0,05 por lo tanto, en este caso, se acepta que no hay diferencias en este parámetro, a través del tiempo.

Tabla 17. Análisis de varianza entre los tiempos de muestreo de los principales parámetros ambientales y bióticos de la Laguna de Huacachina, 2017.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cantidad	Entre grupos	311191443,013	2	155595721,507	1,893	,153
	Dentro de grupos	19893237492,0	242	82203460,711		
	Total	20204428935,0	244			
Temperatura	Entre grupos	2867,512	2	1433,756	10269,006	,000
	Dentro de grupos	33,788	242	,140		
	Total	2901,300	244			
Transparencia	Entre grupos	33050,601	2	16525,301	1314,550	,000
	Dentro de grupos	3042,199	242	12,571		
	Total	36092,800	244			
O_Disuelto	Entre grupos	1033,834	2	516,917	7870,247	,000
	Dentro de grupos	15,895	242	,066		
	Total	1049,729	244			
DQO	Entre grupos	356,583	2	178,291	33604,459	,000
	Dentro de grupos	1,284	242	,005		
	Total	357,867	244			
Conductividad	Entre grupos	3106226,211	2	1553113,106	3347,805	,000
	Dentro de grupos	112268,589	242	463,920		
	Total	3218494,800	244			

pH	Entre grupos	52,720	2	26,360	1326,873	,000
	Dentro de grupos	4,808	242	,020		
	Total	57,528	244			
ASPT	Entre grupos	197,403	2	98,702	48,779	,000
	Dentro de grupos	489,675	242	2,023		
	Total	687,078	244			
S	Entre grupos	1676,843	2	838,422	63,122	,000
	Dentro de grupos	3214,357	242	13,282		
	Total	4891,200	244			
D_Mg	Entre grupos	32,289	2	16,144	92,182	,000
	Dentro de grupos	42,383	242	,175		
	Total	74,671	244			
H	Entre grupos	27,783	2	13,891	240,183	,000
	Dentro de grupos	13,997	242	,058		
	Total	41,779	244			

Debido a que se observa que existen diferencias significativas en las varianzas y en las medias de los parámetros ambientales evaluados, se procede a realizar las Comparaciones Múltiples de Scheffe, según se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Pruebas post hoc (comparaciones múltiples de Scheffe) de los principales parámetros ambientales y bióticos de la Laguna de Huacachina, 2017.

Variable dependiente	(I) Mes	(J) Mes	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Cantidad	Marzo	Agosto	-2799,265	1474,219	,167	-6430,23	831,70
		Diciembre	-1606,623	1342,875	,490	-4914,09	1700,84
	Agosto	Marzo	2799,265	1474,219	,167	-831,70	6430,23
		Diciembre	1192,641	1510,535	,732	-2527,77	4913,05
	Diciembre	Marzo	1606,623	1342,875	,490	-1700,84	4914,09
Agosto		-1192,641	1510,535	,732	-4913,05	2527,77	
Temperatura	Marzo	Agosto	8,2016*	,0608	,000	8,052	8,351
		Diciembre	5,6047*	,0553	,000	5,468	5,741
	Agosto	Marzo	-8,2016*	,0608	,000	-8,351	-8,052

		Diciembre	-2,5970*	,0623	,000	-2,750	-2,444
	Diciembr	Marzo	-5,6047*	,0553	,000	-5,741	-5,468
	e	Agosto	2,5970*	,0623	,000	2,444	2,750
Transparencia	Marzo	Agosto	-15,256*	,577	,000	-16,68	-13,84
		Diciembre	14,895*	,525	,000	13,60	16,19
	Agosto	Marzo	15,256*	,577	,000	13,84	16,68
		Diciembre	30,150*	,591	,000	28,70	31,61
	Diciembr	Marzo	-14,895*	,525	,000	-16,19	-13,60
	e	Agosto	-30,150*	,591	,000	-31,61	-28,70
O_Disuelto	Marzo	Agosto	3,7018*	,0417	,000	3,599	3,804
		Diciembre	4,4827*	,0380	,000	4,389	4,576
	Agosto	Marzo	-3,7018*	,0417	,000	-3,804	-3,599
		Diciembre	,7809*	,0427	,000	,676	,886
	Diciembr	Marzo	-4,4827*	,0380	,000	-4,576	-4,389
	e	Agosto	-,7809*	,0427	,000	-,886	-,676
DQO	Marzo	Agosto	2,7763*	,0118	,000	2,747	2,805
		Diciembre	,0030	,0108	,961	-,024	,030
	Agosto	Marzo	-2,7763*	,0118	,000	-2,805	-2,747
		Diciembre	-2,7733*	,0121	,000	-2,803	-2,743
	Diciembr	Marzo	-,0030	,0108	,961	-,030	,024
	e	Agosto	2,7733*	,0121	,000	2,743	2,803
Conductividad	Marzo	Agosto	-172,857*	3,502	,000	-181,48	-164,23
		Diciembre	-255,567*	3,190	,000	-263,42	-247,71
	Agosto	Marzo	172,857*	3,502	,000	164,23	181,48
		Diciembre	-82,710*	3,588	,000	-91,55	-73,87
	Diciembr	Marzo	255,567*	3,190	,000	247,71	263,42
	e	Agosto	82,710*	3,588	,000	73,87	91,55
pH	Marzo	Agosto	1,1289*	,0229	,000	1,072	1,185
		Diciembre	,1556*	,0209	,000	,104	,207
	Agosto	Marzo	-1,1289*	,0229	,000	-1,185	-1,072
		Diciembre	-,9733*	,0235	,000	-1,031	-,915
	Diciembr	Marzo	-,1556*	,0209	,000	-,207	-,104
	e	Agosto	,9733*	,0235	,000	,915	1,031
ASPT	Marzo	Agosto	2,28351*	,23129	,000	1,7138	2,8532
		Diciembre	,94630*	,21069	,000	,4274	1,4652
	Agosto	Marzo	-2,28351*	,23129	,000	-2,8532	-1,7138
		Diciembre	-1,33721*	,23699	,000	-1,9209	-,7535
		Marzo	-,94630*	,21069	,000	-1,4652	-,4274

	Diciembre	Agosto	1,33721*	,23699	,000	,7535	1,9209
S	Marzo	Agosto	6,386*	,593	,000	4,93	7,85
		Diciembre	,938	,540	,223	-,39	2,27
	Agosto	Marzo	-6,386*	,593	,000	-7,85	-4,93
		Diciembre	-5,448*	,607	,000	-6,94	-3,95
	Diciembre	Marzo	-,938	,540	,223	-2,27	,39
	e	Agosto	5,448*	,607	,000	3,95	6,94
D_Mg	Marzo	Agosto	,92351*	,06805	,000	,7559	1,0911
		Diciembre	,33698*	,06198	,000	,1843	,4896
	Agosto	Marzo	-,92351*	,06805	,000	-1,0911	-,7559
		Diciembre	-,58652*	,06972	,000	-,7582	-,4148
	Diciembre	Marzo	-,33698*	,06198	,000	-,4896	-,1843
		Agosto	,58652*	,06972	,000	,4148	,7582
I	Marzo	Agosto	,85549*	,03910	,000	,7592	,9518
		Diciembre	,37612*	,03562	,000	,2884	,4639
	Agosto	Marzo	-,85549*	,03910	,000	-,9518	-,7592
		Diciembre	-,47937*	,04007	,000	-,5781	-,3807
	Diciembre	Marzo	-,37612*	,03562	,000	-,4639	-,2884
		Agosto	,47937*	,04007	,000	,3807	,5781

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El Análisis de Componentes Principales permite evaluar los indicadores de calidad ambiental y biológica de la Laguna de Huacachina para caracterizarla, comprobando que los atributos planteados se pueden resumir finalmente en lo siguiente:

- Las variables riqueza de especie se relacionan estrechamente con las variables ambientales temperatura, pH, oxígeno disuelto y DQO.
- La Transparencia del agua, conductividad o la cantidad de microalgas y macroinvertebrados no son variables relevantes para conocer la calidad ambiental de la Laguna Huacachina.

Los Análisis de Correlación, demuestra que existe influencia de los parámetros físico químicos de la calidad de agua en la variación de la abundancia y composición de microalgas y macroinvertebrados bentónicos de la Laguna de Huacachina (temperatura, oxígeno y DQO con riqueza y diversidad), demostrando la primera y segunda hipótesis planteada.

El Análisis de Varianza - ANOVA, demuestra que existen diferencias significativas entre los parámetros bióticos de la Laguna de Huacachina, según meses, lo que demuestra la tercera hipótesis planteada.

De acuerdo al índice BMWPA, la calidad de agua de la laguna Huacachina, en el periodo de estudio, se encontró en estado muy crítico.

En base a las conclusiones anteriormente mencionadas se puede afirmar que las microalgas y macroinvertebrados bentónicos son útiles para evaluar la calidad de agua en la Laguna Huacachina, demostrándose la hipótesis general planteada.

Recomendaciones

1. Continuar con la evaluación periódica de microalgas y macroinvertebrados bentónicos en la Laguna Huacachina con la finalidad de determinar bioindicadores de calidad de agua.
2. Realizar especial seguimiento a las especies de microalgas cianofitas para conocer su efecto en el ecosistema de Huacachina.
3. Continuar con la aplicación del método BMWP en ecosistemas lénticos y lóticos con el fin de realizar una modificación adaptada para el Perú.
4. Realizar una evaluación sobre las fuentes de contaminación y sobre posibles sistemas de efluentes vertidos a la laguna.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Roldán G. (2003). *Bioindicación de la Calidad de Agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col.* Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquía.
2. 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.* Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
3. Bellinger E, Sigeo D. Fresh. (2010) *Wáter algae: Identification and use as bioindicators.* UK: Wiley-Blackwell.
4. Blauth de Lima F, Schafer A y Lanzer R. (2013). Diversity and spatial and temporal variation of benthic macroinvertebrates with respect to the trophic state of lake Figueira in the south of Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 25 (4): 249-441.
5. Gamboa M, Reyes R y Arrivillaga J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y salud Ambiental* Vol.XLVIII, N°2.
6. Confederación Hidrográfica del Ebro. (2005). *Metodología para el establecimiento del estado ecológico según la directiva marco del agua. Protocolos de muestreo para fitobentos (microalgas bentónicas).* Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente.
7. Palacio H-Centro Bartolomé de las Casas. (2012). *Estudio técnico integral para la recuperación, conservación, protección y promoción de la laguna Huacachina.* Ministerio de Comercio Exterior y Turismo.
8. Valle Basto D. (2000). *Propuesta de un plan de ordenamiento para la gestión ambiental de la Huacachina, Ica- Perú* (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
9. Sotil R. (2015). *Cuando Ica era un Paraíso: sus 11 lagunas.* Ica, Perú.
10. Domínguez I. (2014). Obras hidráulicas y aguas superficiales en la cuenca del río Ica, su valle y quebradas. En: Oré MT, Damonte G (eds). *¿Escasez de agua? Retos para la gestión de la cuenca del río Ica.* Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. 55-86.
11. Damonte G, Pacheco E y Grados C. (2014) Dinámicas de concentración y escasez de agua: el boom agroexportador y los pequeños propietarios en las zonas media y alta del río Ica. En: Oré MT, Damonte G (eds). *¿Escasez de*

agua? Retos para la gestión de la cuenca del río Ica. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. 127-171.

12. Resolución Ministerial N° 1251-85-ED Declaran monumentos y ambientes monumentales a inmuebles ubicados en los departamentos de Ancash, Arequipa, Ayacucho, Huancavelica, Ica, La Libertad, Lambayeque, Lima y Tacna. *Diario Oficial El Peruano*, 02 de febrero de 2003. (8260): 238403-238405.
13. Decreto Supremo 008-2014-MINAM Establecen la desafectación de la Zona Reservada Laguna de Huacachina y el Área de Conservación Regional Laguna de Huacachina. *Diario Oficial El Peruano*, 07 de agosto de 2014. (12945): 529489-529492.
14. López-Mendoza Z, Tavera R, Novelo E. (2015). El Fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 18(1):13-28.
15. Estep L, Reavie E. (2015). The ecological history of Lake Ontario according to phytoplankton. *Journal of Great Lakes Research*, 41: 669–687.
16. Meichtry de Zaburlín N, Vogler E, Llano V, Martens I. (2013). Fitoplancton del embalse Yacyretá (Argentina-Paraguay) a una década de su llenado. *Revista Mexicana de Biodiversidad*; 84: 225-239.
17. Espinoza Manosalvas C. (2013). *Evaluación de la calidad del agua de la laguna de Yahuarcocha para elaborar un plan de monitoreo utilizando macroinvertebrados como indicadores biológicos* (tesis de pre grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
18. Bosak S, Silovik T, Ljubescic Z, Kuspilic G, Pestoric B, Krivokapic S, Vilicic D. (2012). Phytoplankton size structure and species composition as an indicator of trophic status in transitional ecosystems: the case study of a Mediterranean fjord-like karstic bay. *Oceanologia*; 54 (2): 255–286.
19. De Souza F, Alves A, Urso-Guimaraes M, Calijuri M. (2012). Relationship between space distribution of the benthic macroinvertebrates community and trophic state in a Neotropical reservoir (Itupararanga, Brazil). *Biota Neotropica*; 12(4): 114-124.
20. Balogun K, Ladigbolu I, Ariyo A. (2011). Ecological assessment of a coastal shallow lagoon in Lagos, Nigeria: A bio-indicator approach. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*; 15 (1): 41 – 46.
21. Valcárcel Rojas D. (2011). *Evaluación de la degradación de ecosistemas dulceacuícolas en la cuenca baja del río Uctubamba (Amazonas - Perú)*

mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos (tesis de grado). Universidad Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

22. Paredes C, Iannacone J, Alvarino L. (2005). Uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad de agua del río Rímac, Lima-Callao, Perú. *Revista Colombiana de Entomología*; 31 (2): 219-225.
23. Mendoza L. (2016). El género *Sphaerocavum* y dominancia de *S. brasiliense* y *Microcystis wesenbergii* (Microcystaceae, Cyanophyceae) en la floración algal de la laguna Huacachina, Perú. *Revista Peruana de Biología* 23(1): 053 - 060.
24. Calderón K. (2014). *Comunidad fitoplanctónica y su relación con los parámetros ambientales de la laguna Huacachina, mayo-agosto 2012* (tesis de pre grado). Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Ica, Perú.
25. Carpio R, Purilla J. (2013). Identificación de microalgas de la laguna de Huacachina de la ciudad de Ica, agosto 2011-enero 2012 (Tesis de pre grado). Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Ica, Perú.
26. Barrera J, Solís MI, Phun Y. (2007). Zoobentos del litoral de la laguna Huacachina (Ica), enero-diciembre 2007. Universidad Nacional San Luis Gonzaga, Facultad de Ciencias, Instituto de Investigación Científica José Sebastián Barranca Lovera. Ica, Perú.
27. Solís MI, Phun Y. Diversidad del zooplancton y zoobentos litoral de la laguna Huacachina-Ica, enero a noviembre 2013. Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Facultad de Ciencias, Instituto de Investigación Científica José Sebastián Barranca Lovera. Ica, Perú.
28. Paerl H, Fulton R, Moisaner P, Dyble J. (2001). Harmful freshwater algal blooms with an emphasis on cyanobacteria. *The Scientific World*; 1: 76-113.
29. Prescott G. (1973). *Algae of the western great lakes area*. USA: Brown Company Publisher.
30. Pinilla A. (2017). *Prácticas de Limnología: Guías de laboratorio y campo*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
31. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2011). *Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro*. España: Artes Gráficas.
32. Carrera C, Fierro K. (2001). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Quito: EcoCiencia.

33. Gamarra, Y, Restrepo R, Cajigas A. (2012). *Guía de campo de los macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Menzuly*. Colombia: Ediciones Universidad Industrial de Santander.
34. Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2018). *Algae Base*. Worldwide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Entrada en vigor en 1996. <http://www.algaebase.org>; (último acceso 14 octubre 2018).
35. Autoridad Nacional del Agua. Resultados del sexto monitoreo de la laguna Huacachina. Noviembre 2017. Informe Técnico N° 227-2017-ANA-AAA.CH.CH-ALA I-AT/SACM.
36. Autoridad Nacional del Agua. Resultados del quinto monitoreo participativo de la calidad de agua de la laguna Huacachina. Agosto 2016. Informe Técnico N° 078-2016-ANA-AAA.CH.CH-ALA I-AT/SACM.
37. Autoridad Nacional del Agua. Resultados del cuarto monitoreo participativo de la calidad de agua de la laguna Huacachina. marzo 2016. Informe Técnico N° 065-2016-ANA-AAA.CH.CH-ALA I-AT/SACM.
38. Autoridad Nacional del Agua. Resultados del tercer monitoreo participativo de la calidad de agua de la laguna Huacachina. Noviembre 2015. Informe Técnico N° 006-2016-ANA-AAA.CH.CH-ALA I-AT/SACM.
39. Autoridad Nacional del Agua. Resultados del segundo monitoreo participativo de la calidad de agua de la laguna Huacachina. Setiembre 2015. Informe Técnico N° 156-2015- ANA-AAA-CHCH-SDGCRH.
40. Autoridad Nacional del Agua. Resultados del primer monitoreo participativo de la calidad de agua de la laguna Huacachina. Julio 2015. Informe Técnico N° 145-2015-ANA-AAA-CHCH-SDGCRH.

ANEXOS

ANEXO 01. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: Situación de la calidad de agua de la laguna Huacachina en base a indicadores biológicos

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN		DISEÑO METODOLÓGICO	
			VARIABLES	INDICADORES	TIPO DE INVESTIGACIÓN	MUESTREO
<p>Problema general ¿Cuál es la relación entre los parámetros físico químicos con las poblaciones de microalgas y macroinvertebrados bentónicos para efectuar la evaluación de calidad de agua de la laguna Huacachina?</p>	<p>Objetivo general Evaluar la calidad de agua de la laguna Huacachina en base a indicadores biológicos (microalgas y macroinvertebrados bentónicos) que se relacionan con los parámetros físico químicos.</p>	<p>Hipótesis principal Las microalgas y macroinvertebrados bentónicos influenciados por los cambios de los parámetros físico químicos, son útiles para la evaluación de calidad de agua en la laguna Huacachina.</p>	<p>V.I: Calidad físico química de calidad del agua</p> <p>VD: Microalgas y Macroinvertebrados bentónicos</p>	<p>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en mg/L, Demanda química de oxígeno (DQO) en mg/L, Temperatura de agua en °C, potencial de hidrógeno en pH, Transparencia en cm de profundidad, especies de microalgas, Diversidad en bits, especies de macroinvertebrados bentónicos, Índice de Familiaridad (Monitoring Working Party- MWP) de macroinvertebrados bentónicos.</p>	<p>Tipo : Básica</p> <p>Método: No experimental - Transeccional - Correlacional</p>	<p>Diseño: Muestreo probabilístico en cuatro estaciones de muestreo definidas por la DESA-lica: • Estación 1. Ingreso de abastecimiento de agua • Estación 2. Altura del restaurante El Mirador • Estación 3. Frente a zona de baños • Estación 4. Zona de flora y fauna</p> <p>Tamaño de muestra: Para el caso de las microalgas, la colecta de muestras tanto cuantitativas como cualitativas en cada estación se hará por triplicado con fijación y sin fijación, lo que dará un total de 12 muestras para el análisis de microalgas. En tanto para el análisis de macroinvertebrados bentónicos se realizará muestras por triplicado en cada estación con el uso de red suber para un área de 33x33cm, sumando un total de 12 muestras.</p> <p>Frecuencia: Bimensual</p>
<p>Problema específico 1 ¿Cuál es la relación entre la modificación de los parámetros físico químicos de la calidad de agua con la variación de las poblaciones de microalgas de la laguna Huacachina?</p>	<p>Objetivo específico 1 Determinar la diversidad de microalgas por cada estación de la laguna Huacachina.</p>	<p>Hipótesis específica 1 La modificación de los parámetros físico químicos de la calidad de agua influye en la variación de la abundancia y composición de microalgas.</p>	<p>V.I: Calidad físico química del agua por cada estación de muestreo</p> <p>VD: Microalgas</p>	<p>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en mg/L; Demanda química de oxígeno (DQO) en mg/L; Temperatura de agua en °C; Potencial de hidrógeno en pH; Transparencia en cm de profundidad. Especies de microalgas, Diversidad en bits.</p>		
<p>Problema específico 2 ¿Cuál es la relación entre la modificación de los parámetros físico químicos de la calidad de agua con la variación de las poblaciones de macroinvertebrados bentónicos de la laguna Huacachina?</p>	<p>Objetivo específico 2 Determinar la diversidad de macroinvertebrados bentónicos por cada estación de la laguna Huacachina.</p>	<p>Hipótesis específica 2 La modificación de los parámetros físico químicos de la calidad de agua influye en la variación de la abundancia y composición de macroinvertebrados bentónicos.</p>	<p>V.I: Calidad físico química del agua por cada estación de muestreo</p> <p>VD: Macroinvertebrados bentónicos</p>	<p>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en mg/L, Demanda química de oxígeno (DQO) en mg/L, Temperatura de agua en °C, potencial de hidrógeno en pH, Transparencia en cm de profundidad, especies de macroinvertebrados bentónicos, Índice de Biological Monitoring Working Party modificado- BMWPm para macroinvertebrados bentónicos.</p>		
<p>Problema específico 3 ¿Las estaciones del año influyen sobre la composición de las poblaciones de microalgas y macroinvertebrados bentónicos de la laguna Huacachina?</p>	<p>Objetivo específico 3 Determinar la relación existente entre estaciones del año y la diversidad de microalgas y macroinvertebrados bentónicos de la laguna Huacachina.</p>	<p>Hipótesis específica 3 La diversidad de especies de microalgas y macroinvertebrados bentónicos presentan variaciones estacionales.</p>	<p>V.I: Estaciones del año</p> <p>VD: Microalgas y Macroinvertebrados bentónicos</p>	<p>Estación del año, temperatura ambiente en grados centígrados (°C), Humedad Ambiente en porcentaje (%), velocidad del viento en metros por segundo (m/s), Temperatura de agua en °C, especies de microalgas por estación del año; especies de macroinvertebrados bentónicos por estación del año.</p>		

ANEXO 02. RESULTADOS DE EVALUACIÓN FITOPLANCTÓNICA

Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 1, Huacachina marzo 2017

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENA	CYANOPHYTA	3	10	0.00079576	23	1.4615	2.7
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	68	227	0.01803714			
APHANOCAPSA	CYANOPHYTA	20	67	0.00530504			
OSCILLATORIA	CYANOPHYTA	1	3	0.00026525			
PLANKTOTHRIX	CYANOPHYTA	16	53	0.00424403			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	193	643	0.05119363			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	2444	8147	0.64827586			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	98	327	0.02599469			
BOTRYOCOCCUS	CHLOROPHYTA	19	63	0.00503979			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	68	227	0.01803714			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	237	790	0.06286472			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	58	193	0.01538462			
OOCYSTIS	CHLOROPHYTA	42	140	0.01114058			
PEDIASTRUM	CHLOROPHYTA	2	7	0.0005305			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	138	460	0.03660477			
SCENEDESMUS SP.	CHLOROPHYTA	20	67	0.00530504			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	156	520	0.04137931			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	87	290	0.02307692			
ACHNANTHES	BACILLARIOPHYTA	1	3	0.00026525			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	14	47	0.00371353			
CYMBELLA	BACILLARIOPHYTA	1	3	0.00026525			
PERIDINIUM	PYRRROPHYTA	78	260	0.02068966			
Euglena	EUGLENOPHYTA	6	20	0.00159151			

Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 2, Huacachina marzo 2017.

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENA	CYANOPHYTA	2	7	0.00038059	24	1.46	2.68
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	23	77	0.00437678			
APHANOCAPSA	CYANOPHYTA	8	27	0.00152236			
OSCILLATORIA	CYANOPHYTA	8	27	0.00152236			
PLANKTOTHRIX	CYANOPHYTA	15	50	0.00285442			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	148	493	0.02816365			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	3360	11200	0.63939106			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	88	293	0.01674596			
BOTRYOCOCCUS	CHLOROPHYTA	8	27	0.00152236			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	530	1767	0.10085633			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	77	257	0.01465271			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	35	117	0.00666032			
OOCYSTIS	CHLOROPHYTA	48	160	0.00913416			
PEDIASTRUM	CHLOROPHYTA	3	10	0.00057088			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	77	257	0.01465271			
SCENEDESMUS SP.	CHLOROPHYTA	11	37	0.00209324			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	268	893	0.05099905			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	278	927	0.052902			
ACHNANTHES	BACILLARIOPHYTA	2	7	0.00038059			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	8	27	0.00152236			
CYMBELLA	BACILLARIOPHYTA	2	7	0.00038059			
NITZCHIA	BACILLARIOPHYTA	14	47	0.00266413			
PERIDINIUM	PYRRROPHYTA	233	777	0.04433873			
Euglena	EUGLENOPHYTA	9	30	0.00171265			

Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 3, Huacachina marzo 2017.

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENA	CYANOPHYTA	8	27	0.00135364	20	1.3	2.19
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	41	137	0.00693739			
APHANOCAPSA	CYANOPHYTA	11	37	0.00186125			
OSCILLATORIA	CYANOPHYTA	5	17	0.00084602			
PLANKTOTHRIX	CYANOPHYTA	7	23	0.00118443			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	244	813	0.04128596			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	4156	13853	0.70321489			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	139	463	0.02351946			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	323	1077	0.05465313			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	95	317	0.01607445			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	20	67	0.00338409			
OOCYSTIS	CHLOROPHYTA	30	100	0.00507614			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	86	287	0.01455161			
SCENEDESMUS SP.	CHLOROPHYTA	22	73	0.0037225			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	231	770	0.03908629			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	251	837	0.04247039			
ACHNANTHES	BACILLARIOPHYTA	3	10	0.00050761			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	24	80	0.00406091			
PERIDINIUM	PYRROPHYTA	209	697	0.03536379			
Euglena	EUGLENOPHYTA	5	17	0.00084602			

Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 4, Huacachina marzo 2017

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENA	CYANOPHYTA	6	20	0.0005202	25	0.89	2.57
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	81	270	0.00702272			
APHANOCAPSA	CYANOPHYTA	4	13	0.0003468			
OSCILLATORIA	CYANOPHYTA	14	47	0.0012138			
PLANKTOTHRIX	CYANOPHYTA	9	30	0.0007803			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	48	160	0.00416161			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	9343	31143	0.81003988			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	76	253	0.00658921			
CHODETELLA	CHLOROPHYTA	2	7	0.0001734			
BOTRYOCOCCUS	CHLOROPHYTA	14	47	0.0012138			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	226	753	0.01959424			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	237	790	0.02054795			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	46	153	0.00398821			
OOCYSTIS	CHLOROPHYTA	32	107	0.00277441			
PEDIASTRUM	CHLOROPHYTA	8	27	0.0006936			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	126	420	0.01092422			
SCENEDESMUS SP.	CHLOROPHYTA	9	30	0.0007803			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	828	2760	0.07178776			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	156	520	0.01352523			
ACHNANTHES	BACILLARIOPHYTA	2	7	0.0001734			
RHOPALODIA	BACILLARIOPHYTA	2	7	0.0001734			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	8	27	0.0006936			
NITZCHIA	BACILLARIOPHYTA	4	13	0.0003468			
PERIDINIUM	PYRROPHYTA	243	810	0.02106815			
Euglena	EUGLENOPHYTA	10	33	0.000867			

Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 1, Huacachina agosto 2017.

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENA	CYANOPHYTA	10	33	0.00062438	17	0.42	1.65
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	281	937	0.01754496			
PLANKTOTHRIX	CYANOPHYTA	2	7	0.00012488			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	29	97	0.00181069			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	14772	49240	0.92232767			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	398	1327	0.02485015			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	53	177	0.00330919			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	226	753	0.01411089			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	14	47	0.00087413			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	29	97	0.00181069			
SCENEDESMUS SP.	CHLOROPHYTA	4	13	0.00024975			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	7	23	0.00043706			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	84	280	0.00524476			
RHOPALODIA	BACILLARIOPHYTA	13	43	0.00081169			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	77	257	0.00480769			
NITZCHIA	BACILLARIOPHYTA	7	23	0.00043706			
PERIDINIUM	PYRROPHYTA	10	33	0.00062438			

Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 2, Huacachina agosto 2017.

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENA	CYANOPHYTA	20	67	0.0011814	13	0.28	1.2
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	16	53	0.00094512			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	16100	53667	0.95103078			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	311	1037	0.01837084			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	43	143	0.00254002			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	166	553	0.00980566			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	4	13	0.00023628			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	41	137	0.00242188			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	10	33	0.0005907			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	53	177	0.00313072			
RHOPALODIA	BACILLARIOPHYTA	10	33	0.0005907			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	128	427	0.00756099			
PERIDINIUM	PYRROPHYTA	27	90	0.0015949			

Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 3, Huacachina agosto 2017.

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENA	CYANOPHYTA	3	10	0.00015784	16	0.35	1.52
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	51	170	0.00268336			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	45	150	0.00236767			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	17848	59493	0.93907187			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	305	1017	0.01604756			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	15	50	0.00078922			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	272	907	0.01431127			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	2	7	0.00010523			
PEDIASTRUM	CHLOROPHYTA	2	7	0.00010523			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	38	127	0.00199937			
SCENEDESMUS SP.	CHLOROPHYTA	1	3	5.2615E-05			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	29	97	0.00152583			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	157	523	0.00826055			
RHOPALODIA	BACILLARIOPHYTA	10	33	0.00052615			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	216	720	0.01136483			
PERIDINIUM	PYRROPHYTA	12	40	0.00063138			

Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 4, Huacachina agosto 2017.

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENA	CYANOPHYTA	6	20	0.00035217	16	0.33	1.54
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	6	20	0.00035217			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	18	60	0.00105652			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	16030	53433	0.94089335			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	403	1343	0.0236544			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	17	57	0.00099783			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	239	797	0.01402829			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	5	17	0.00029348			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	30	100	0.00176087			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	13	43	0.00076305			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	109	363	0.00639784			
RHOPALODIA	BACILLARIOPHYTA	17	57	0.00099783			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	127	423	0.00745436			
NITZCHIA	BACILLARIOPHYTA	2	7	0.00011739			
PERIDINIUM	PYRROPHYTA	14	47	0.00082174			
Euglena	EUGLENOPHYTA	1	3	5.8696E-05			

Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 1, Huacachina diciembre 2017.

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENA	CYANOPHYTA	12	40	0.00065638	22	0.89	2.14
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	946	3153	0.05174489			
OSCILLATORIA	CYANOPHYTA	3	10	0.0001641			
PLANKTOTHRIX	CYANOPHYTA	4	13	0.00021879			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	256	853	0.01400284			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	14800	49333	0.80953944			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	962	3207	0.05262006			
BOTRYOCOCCUS	CHLOROPHYTA	6	20	0.00032819			
CHLORELLA	CHLOROPHYTA	36	120	0.00196915			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	35	117	0.00191445			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	311	1037	0.01701127			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	93	310	0.00508697			
OOCYSTIS	CHLOROPHYTA	75	250	0.0041024			
PEDIASTRUM	CHLOROPHYTA	6	20	0.00032819			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	257	857	0.01405754			
SCENEDESMUS SP.	CHLOROPHYTA	16	53	0.00087518			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	92	307	0.00503227			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	117	390	0.00639974			
RHOPALODIA	BACILLARIOPHYTA	4	13	0.00021879			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	20	67	0.00109397			
NITZCHIA	BACILLARIOPHYTA	5	17	0.00027349			
PERIDINIUM	PYRROPHYTA	226	753	0.01236189			

Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 2, Huacachina diciembre 2017.

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENA	CYANOPHYTA	18	60	0.00115704	22	0.87	2.18
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	277	923	0.01780549			
OSCILLATORIA	CYANOPHYTA	3	10	0.00019284			
PLANKTOTHRIX	CYANOPHYTA	4	13	0.00025712			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	242	807	0.0155557			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	12730	42433	0.81828116			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	918	3060	0.05900881			
CHLORELLA	CHLOROPHYTA	8	27	0.00051424			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	43	143	0.00276403			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	322	1073	0.02069808			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	140	467	0.00899916			
OOCYSTIS	CHLOROPHYTA	29	97	0.00186411			
PEDIASTRUM	CHLOROPHYTA	7	23	0.00044996			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	255	850	0.01639134			
SCENEDESMUS SP.	CHLOROPHYTA	28	93	0.00179983			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	149	497	0.00957768			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	113	377	0.00726361			
RHOPALODIA	BACILLARIOPHYTA	5	17	0.0003214			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	12	40	0.00077136			
NITZCHIA	BACILLARIOPHYTA	3	10	0.00019284			
PERIDINIUM	PYRROPHYTA	245	817	0.01574854			
Euglena	EUGLENOPHYTA	6	20	0.00038568			

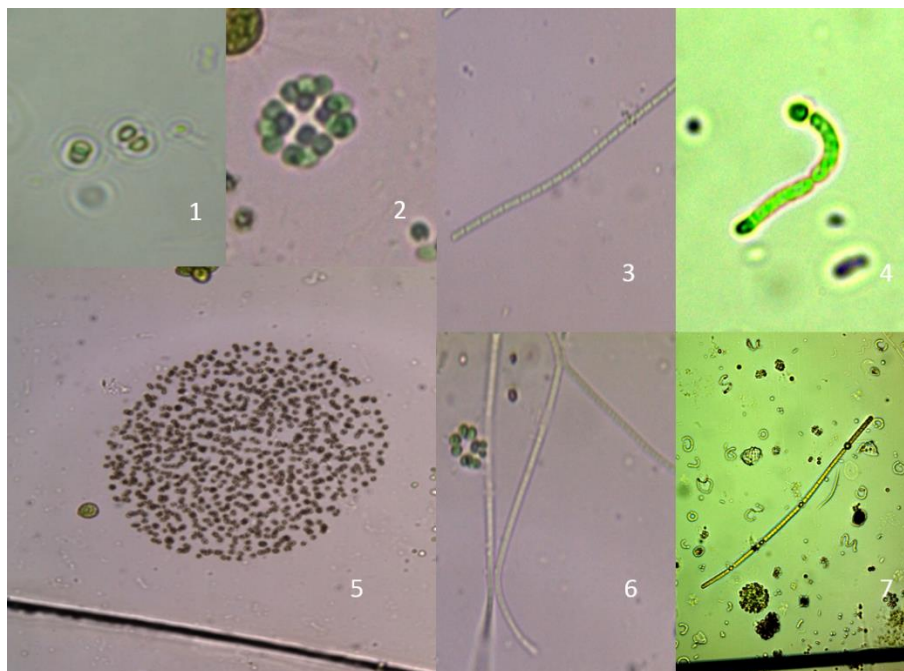
Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 3, Huacachina diciembre 2017.

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	807	2690	0.04143774	19	0.81	1.82
OSCILLATORIA	CYANOPHYTA	30	100	0.00154044			
PLANKTOTHRIX	CYANOPHYTA	9	30	0.00046213			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	216	720	0.01109114			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	16230	54100	0.83337612			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	755	2517	0.03876765			
CHLORELLA	CHLOROPHYTA	51	170	0.00261874			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	44	147	0.00225931			
PEDIASTRUM	CHLOROPHYTA	8	27	0.00041078			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	241	803	0.01237484			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	86	287	0.00441592			
OOCYSTIS	CHLOROPHYTA	40	133	0.00205392			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	457	1523	0.02346598			
SCENEDESMUS SP.	CHLOROPHYTA	66	220	0.00338896			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	55	183	0.00282413			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	123	410	0.00631579			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	25	83	0.0012837			
NITZCHIA	BACILLARIOPHYTA	7	23	0.00035944			
PERIDINIUM	PYRROPHYTA	225	750	0.01155327			

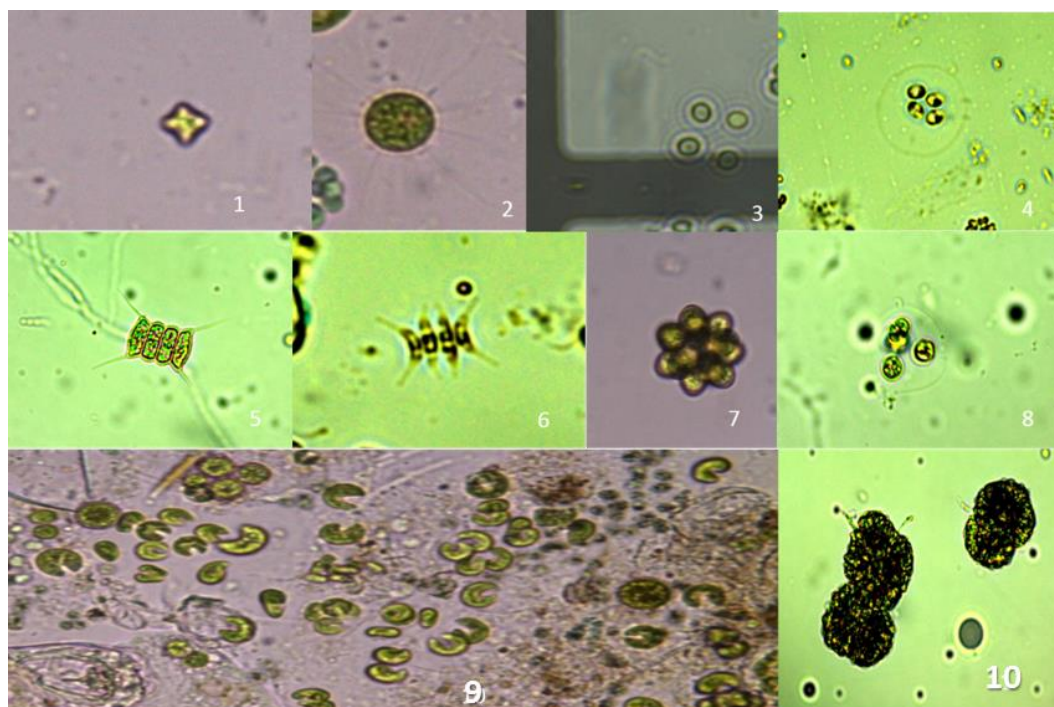
Resultados de evaluación de fitoplancton Estación 4, Huacachina diciembre 2017.

GÉNERO/ESPECIE	DIVISIÓN	N° Individuos	CANTIDAD	Abundancia relativa (Pi)	S	H	Dmg
ANABAENOPSIS	CYANOPHYTA	257	857	0.02214181	22	0.78	2.24
OSCILLATORIA	CYANOPHYTA	17	57	0.00146463			
CHROOCOCCUS	CYANOPHYTA	121	403	0.01042474			
MICROCYSTIS	CYANOPHYTA	9780	32600	0.84259499			
WORNICHINIA	CYANOPHYTA	550	1833	0.0473852			
BOTRYOCOCCUS	CHLOROPHYTA	10	33	0.00086155			
COELASTRUM	CHLOROPHYTA	37	123	0.00318773			
KIRCHNERIELLA	CHLOROPHYTA	59	197	0.00508314			
MICRACTINIUM	CHLOROPHYTA	31	103	0.0026708			
OOCYSTIS	CHLOROPHYTA	14	47	0.00120617			
PEDIASTRUM	CHLOROPHYTA	7	23	0.00060308			
SCENEDESMUS Q.	CHLOROPHYTA	271	903	0.02334798			
SCENEDESMUS SP.	CHLOROPHYTA	21	70	0.00180925			
SPHAEROCYSTIS	CHLOROPHYTA	50	167	0.00430775			
TETRAEDROM	CHLOROPHYTA	198	660	0.01705867			
RHOPALODIA	BACILLARIOPHYTA	10	33	0.00086155			
NAVICULA	BACILLARIOPHYTA	8	27	0.00068924			
CYMBELLA	BACILLARIOPHYTA	2	7	0.00017231			
NITZCHIA	BACILLARIOPHYTA	1	3	8.6155E-05			
PERIDINIUM	PYRROPHYTA	153	510	0.0131817			
Euglena	EUGLENOPHYTA	5	17	0.00043077			
Phacus	EUGLENOPHYTA	5	17	0.00043077			

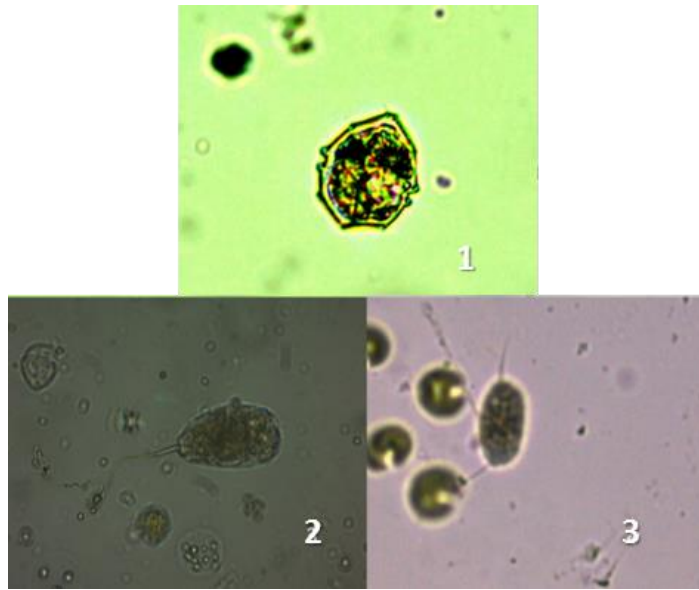
ANEXO 03. Especies de microalgas identificadas identificadas



Cyanophyta: 1. Chroococcus, 2. Wornichinia, 3. Oscillatoria, 4. Anabaenopsis, 5. Microcystis, 6. Planktothrix, 7. Anabaena.



Chlorophyta: 1. Tetraedrum, 2. Micractinium, 3. Chlorella, 4. Oocystis, 5. Scenedesmus quadricauda, 6. Scenedesmus sp., 7. Coelastrum, 8. Sphaerocystis, 9. Kirchneriella, 10. Botryococcus.

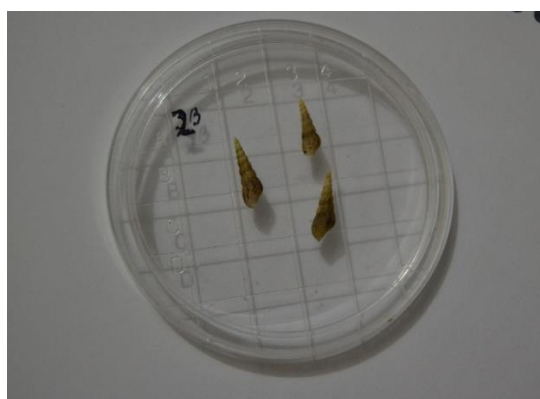


Pyrrophyta: 1. Peridinium,
Euglenophyta: 3. Euglena, 4. Phacus.

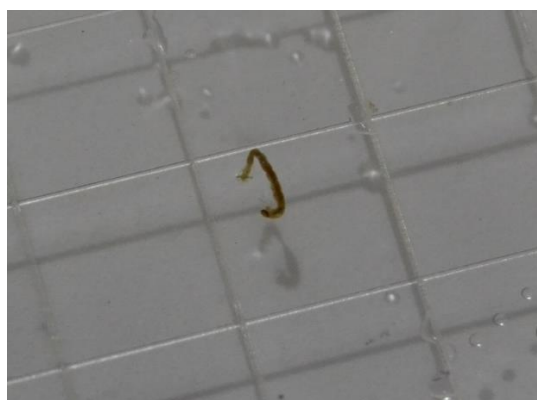
Anexo 04. Macroinvertebrados bentónicos identificados en la laguna Huacachina



Especímenes de *Melanoides* sp.



Especímenes de *Planorbis* sp.



Larva del género *Chironomus*